

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Katedra environmentálního inženýrství

Vyhodnocení postupů optimalizace likvidace gelovitých kalů

Diplomová práce

Autor:

Bc. Kateřina Šinfeltová

Vedoucí diplomové práce:

doc. Mgr. Eva Pertile, Ph.D.

Ostrava 2021

Abstrakt

Diplomová práce Vyhodnocení postupů optimalizace likvidace gelovitých kalů řeší problematiku odpadních vod z výroby epoxidových pryskyřic s katalogovým číslem 08 04 15. Tyto kaly jsou nesnadno manipulovatelné, a proto je potřeba je vhodně upravit, za účelem změny skupenství nebo vlastností odpadní vody. Možné změny je dosahováno pomocí suchých příměsí, kterými jsou gelovité kaly upravovány. Práce se zároveň zabývá možnostmi snižování celkového množství odpadu oddělováním kapalně fáze z odpadní vody, a zvyšováním energetického potenciálu v rámci dalšího využití.

Klíčová slova: gelovité kaly, příměs, sorbent, hmotnost, redukce odpadu, gelovitá fáze, kapalná fáze, úprava odpadu.

Abstract

This thesis called Evaluation of Procedures for Optimization of Gel Sludge Disposal deals with wastewater from the production of epoxy resins with catalog number 08 04 15. These sludges are difficult to handle and therefore need to be properly treated in order to change the state or properties of the wastewater. Possible changes are achieved by mixing dry admixtures with gel-like sludges. The thesis also deals with the possibilities of reducing the total amount of waste by separating the liquid phase from wastewater and increasing the energy potential for further use.

Key words: gel sludge, admixture, sorbent, weight, waste reduction, gel phase, liquid phase, waste treatment.

Obsah

1	ÚVOD A CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	1
2	ZHODNOCENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	2
2.1	Výrobní proces.....	4
2.2	Vznik gelovitých kalů	6
2.3	Vlastnosti gelovitého kalu.....	6
2.4	Manipulace s gelovitými kaly	7
2.5	Nakládání s gelovitými kaly.....	8
2.5.1	Linka pro úpravu odpadů	9
2.5.2	Stabilizace a skládkování	10
3	PRAKTICKÁ ČÁST	12
3.1	Metodika odběru a úpravy vzorků gelovitých kalů.....	12
3.2	Druhy použitých příměsí pro experiment.....	13
3.3	Metodika vlastního experimentu.....	19
4	VYHODNOCENÍ POSTUPŮ OPTIMALIZACE GELOVITÝCH KALŮ	21
4.1	Vyhodnocení reakce vzorku s novinovým papírem.....	21
4.2	Vyhodnocení reakce vzorku s pilinami.....	23
4.3	Vyhodnocení reakce vzorku s hoblinami.....	25
4.4	Vyhodnocení reakce vzorku s dřevní štěpkou.....	27
4.5	Vyhodnocení reakce vzorku s granulátem aktivního uhlí.....	28
4.6	Vyhodnocení reakce vzorku s práškovým aktivním uhlím.....	30
4.7	Vyhodnocení reakce vzorku s hydrogelem	31
4.8	Vyhodnocení reakce vzorku s Vapexem.....	34
4.9	Vyhodnocení reakce vzorku s hnědým uhlím	35
4.10	Vyhodnocení následných úprav pro vybrané nejvhodnější příměsí.....	36
4.10.1	Vzorek s papírem, pilinami a hoblinami	37
4.10.2	Vzorek s Vapexem	40
4.10.3	Vyhodnocení následné úpravy vápnem.....	42
5	DISKUSE	48
5.1	Příměsí novinový papír, piliny a hobliny	49
5.2	Příměs Vapex	50
6	ZÁVĚR.....	54
	Seznam literatury	56
	Seznam obrázků	59
	Seznam tabulek	62

1 ÚVOD A CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Odpady jsou všude kolem nás, jsou součástí našich každodenních životů. Lze se s nimi setkat v různých podobách a mnohdy si ani neuvědomujeme, že se jedná o odpad. Nejběžnějším odpadem je bezesporu komunální odpad, který představuje obrovské množství druhotných surovin, které lze správným tříděním znovu smysluplně využít. S čím se ale člověk v běžném životě nesetká v takovém množství, jsou odpady nebezpečné. Mezi nebezpečné odpady se řadí odpady vykazující alespoň jednu z vlastností nebezpečných pro zdraví a život člověka, nebo negativně ovlivňující či ohrožující životní prostředí. Do této kategorie spadají i gelovité kaly, které jsou předmětem mé diplomové práce. Gelovité kaly jsou součástí odpadních vod z výroby epoxidových pryskyřic. Manipulace s kapalným odpadem je ztížena kvůli jeho skupenství, i některým vlastnostem samotného odpadu.

Teoretická část diplomové práce se zabývá aktuálním stavem řešené problematiky, tedy především vlastnostmi gelovitých kalů, manipulací a nakládáním s nimi, a také současným řešením likvidace těchto odpadů. Praktická část práce je pak věnována vlastnímu pozorování a zkoumání vlastností gelovitých kalů, případným reakcím s jednotlivými příměsemi a možnostem úpravy kapalného odpadu. Získané výsledky jsou uvedeny v kapitole Výsledky a následně jsou také diskutovány.

Cílem diplomové práce je vytvořit a experimentálně také ověřit možnosti nakládání a snadnější manipulace s odpadem s katalogovým číslem 08 04 15, gelovitými kaly z výroby epoxidových pryskyřic, a to případnou změnou ve fyzikálně-mechanických vlastnostech, způsobenou vmícháváním různých příměsí do odpadu, za účelem vhodně změnit jeho skupenství nebo vlastnosti, případně snížit jeho množství tak, aby bylo možné odpad efektivně upravit a dále zpracovat, a zároveň zvýšit energetický potenciál tohoto odpadu a vytvořit palivovou směs pro následné využití při vytváření tepla, například v cementačních provozech.

2 ZHODNOCENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Každá průmyslová výroba přináší při své činnosti odpadní suroviny, jež lze dále ještě využít, ale také odpady, které je potřeba nějakým způsobem z procesu odstranit. V tomto případě se jedná o odpady z výroby epoxidových pryskyřic z ústeckého Spolku pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost.

Je nutné mít na paměti, že pro nakládání s odpady platí všeobecně známá hierarchie, tedy pět fází popisujících nakládání s odpady. Prioritně by se každý člověk měl snažit tvorbě odpadům předcházet, či alespoň snižovat jejich množství, například koupí kvalitnějšího zboží s delší výdrží, opravou spotřebiče namísto koupě nového, případně koupí většího balení potravin, za účelem snížení množství obalových materiálů. [1] Bohužel úplně se vyhnout produkci odpadních materiálů prakticky nelze. Je ovšem možné některé již existující produkty opakovaně používat, bez nutnosti nákladných úprav. [2] Již vzniklé odpady lze třídit, a tím je připravit k recyklaci. Pro již recyklované odpady se hledá využití ještě jiné. Mohou být použity pro energetické využití, například jako palivo. Teprve v případě, kdy takovéto další využití odpadů již není ekologicky, ekonomicky či jinak výhodné, případně by ohrozilo zdraví lidí, či negativně ovlivnilo sociální dopad, se přechází k poslednímu možnému řešení – odstranění odpadů, například jejich uložení na skládce. [3]

Způsoby využívání odpadů, případně jejich odstraňování, jsou uvedeny a popsány v přílohách č. 5 a 6 zákona č. 541/2020 Sb. Konkrétně další využití odpadů, jejich úprava, případně skladování před následným využitím jsou popsány kódy R1a až R13. Spadá sem například již zmíněné další využití v podobě paliva, nebo jiné využití pro výrobu energie, recyklace k zpětnému získávání látek, kompostování a podobně. Způsoby možného odstranění odpadů, které jsou označeny kódy D1a až D15. Sem patří již zmíněné ukládání odpadů na úroveň nebo pod úroveň okolní krajiny, spalování na pevnině nebo na moři, ukládání na mořské dno, hloubková injektáž, vypuštění do moře nebo jiných vodních těles a podobně. [3]

Odpad určený ke skládkování se dělí do tří kategorií: S-OI, S-OO a S-NO. Hodnoty jednotlivých prvků obsažených v odpadu, které dále stanovují dělení odpadů do těchto tří skupin, jsou vymezené třídami vyluhovatelnosti. Na S-OI, skládku inertního odpadu, se ukládá odpad, který hodnotami spadá do třídy vyluhovatelnosti I. Na S-OO, skládku

s ostatním odpadem, se ukládá odpad s hodnotami odpovídajícími výluhové třídě IIa a IIb. [4] A konečně na S-NO, skládku nebezpečného odpadu, se ukládá odpad, který hodnotami spadá do výluhové třídy III. [5] Sklárky S-OO a S-NO jsou způsobeny nejen k bezpečnému uložení odpadů, ale nakládají i s výluhovými vodami, které vznikají zachycením srážkové vody na povrchu tělesa sklárky, případně biologicko-chemickými procesy v samotném tělese sklárky, nebo skládkovými plyny. [4] V následující tabulce 1 jsou uvedeny jednotlivé třídy vyluhovatelnosti, a to včetně parametrů, které musí splňovat.

Tabulka 1: Tabulka vyluhovatelnosti [6]

Ukazatel	Třídy vyluhovatelnosti			
	I mg l ⁻¹	IIa mg l ⁻¹	IIb mg l ⁻¹	III mg l ⁻¹
DOC (rozpuštěný org. uhlík)	50	80	80	100
Jednosytné fenoly	0,1			
Chloridy	80	1 500	1 500	2 500
Fluoridy	1	30	15	50
Sírany	100	3 000	2 000	5 000
As	0,05	2,5	0,2	2,5
Ba	2	30	10	30
Cd	0,004	0,5	0,1	0,5
Cr celkový	0,05	7	1	7
Cu	0,2	10	5	10
Hg	0,001	0,2	0,02	0,2
Ni	0,04	4	1	4
Pb	0,05	5	1	5
Sb	0,006	0,5	0,07	0,5
Se	0,01	0,7	0,05	0,7
Zn	0,4	20	5	20
Mo	0,05	3	1	3
RL (rozpuštěné látky)	400	8 000	6 000	10 000
pH		6	6	

Tabulka vyluhovatelnosti vyjadřuje hodnoty jednotlivých látek – škodlivin v nejvyšší přípustné koncentraci ve vodném výluhu pro jednotlivé třídy. Po úpravě zkoumaného vzorku se následně nachystá vodný výluh. [6] Vodný výluh je roztok, který vzniká při smíchání odpadního materiálu s vodou v určitém poměru. Při jeho přípravě se postupuje podle ČSN EN12457-4 (83 8005). [7] Vodné roztoky se používají například při testech ekotoxicity, které se provádí na rybách, perloočkách a semenech. Pro přefiltrování výluhu k testům na ekotoxicitu jsou používány filtry z papíru s velikostí póru 5 μm . [8]

Gelovité kaly z výroby epoxidových pryskyřic spadají do kategorie nebezpečných odpadů (NO). Nebezpečné odpady vznikají nejen v chemickém průmyslu, ale například i při výrobě skla nebo keramiky, v automobilovém, nebo textilním průmyslu. [9] Mezi nebezpečné odpady se řadí ty odpady, které vykazují alespoň jednu z 15 vlastností, nebezpečnou pro lidské zdraví nebo ohrožující životní prostředí. Tento odpadní materiál nemusí být nebezpečný pouze v místě vzniku odpadu, ale i při manipulaci s ním, během jeho přemísťování, případně i při jeho odstraňování. [10] Nebezpečné vlastnosti se označují kódy HP 1 až HP 15. [3] Patří sem například výbušnost, hořlavost, dráždivost, toxicita, karcinogenita, žíravost, infekčnost, ekotoxicita a další. [11]

2.1 Výrobní proces

Zařízení, které vyrábí nízkomolekulární epoxidové pryskyřice, má projektovanou kapacitu 30 000 tun rok^{-1} . Bylo dodáno japonskou firmou Dainippon Ink & Chemicals, Incorporated. Japonská firma, která je zároveň licenzorem, zaručuje nižší spotřebu jak surovin, tak energií. Vzhledem k tomu, že se jedná o výrobu na základě v současnosti nejmodernějších technologií, by se i vznik nežádoucích odpadních látek, v porovnání s dříve používanými technologiemi, měl omezit, a tím i celkové množství vyprodukovaného odpadu snížit. [12]

Jednotlivé fáze výrobního procesu jsou utříděny tak, aby se naplnila kapacita dílčích zařízení, čímž je výroba efektivnější a plynulejší. Samotná výroba epoxidových pryskyřic se odehrává pod dusíkovou atmosférou v pěti reaktorech, na kterých je upevněn otop a chlazení. První fází výroby je eterifikace – do prvního reaktoru je dávkován bisfenol A (dian) a epichlorhydrin. Tyto přísady se promíchají a ohřejí na určenou teplotu. Eterifikace započne po dodání NaOH (hydroxidu sodného) do směsi. Po zreagování je produkt přesunut do druhého reaktoru, ve kterém dochází k prvnímu stupni dehydrochlorace. Během této

etapy je z produktu odstraňován nezreagovaný epichlorhydrin. Ve třetím reaktoru po přidání katalyzátoru probíhá druhá dehydrochlorace. Vzniklý NaCl (chlorid sodný) je odstraňován extrakcí v toluenové fázi. Další, v pořadí čtvrtý reaktor, slouží k neutralizaci přebytečného NaOH a odstranění zbytkového NaCl propíráním horkou vodou. V pátém, posledním reaktoru, se oddestilovává toluen a filtruje se kapalná pryskyřice. Následuje kontrolní analýza, po které je kapalná pryskyřice, již jako hotový produkt, dopravována do skladovací nádrže. [12]

Během první dehydrochlorace je do zásobníku oddělována reakční voda, ze které se poté destilací odděluje epichlorhydrin (destilát). Ten se dostává zpět do výrobního procesu, a zbylá voda (destilační zbytek) je sváděna do jímky odpadních vod. Také odplyny z jednotlivých reaktorů je nutné před návratem do atmosféry upravit tak, aby se emisím znečišťujících a škodlivých látek zabránilo proniknout do ovzduší. Všechny odplyny, které obsahují epichlorhydrin, jsou přiváděny na jednotku sanace epichlorhydrinu, kterou tvoří rekuperační zařízení s adsorbérem. Hlavním cílem této jednotky je návrat epichlorhydrinu do původního výrobního procesu – tři fáze ochlazování způsobí kondenzaci většího podílu epichlorhydrinu, který je vrácen zpět do výrobního procesu. Pro zajištění co nejnižšího obsahu epichlorhydrinu v emisích vypouštěných zpět do ovzduší, je k rekuperačnímu zařízení připojen již zmíněný adsorbér s výplní aktivního uhlí. Odplyny, které obsahují toluen, jsou pro nižší hodnoty škodlivé látky upravovány termickou oxidací. Prvním krokem v procesu termické likvidace je odseparování vody, poté při nízké teplotě ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) toluen kondenzuje, a následně probíhá samotná termická likvidace. Při výrobě vzniká také gelová mezivrstva kapalných odpadů, která je recirkulována přes tzv. gel machine a odpadní voda je předčištěna a poté pokračuje do biologické čistírny odpadních vod. [12]

Odpadními vodami z výrob epichlorhydrinu a epoxidových pryskyřic, které bylo potřeba čistit, se výzkumníci začali zabývat již kolem roku 1992, kdy byla dokončena přestavba závodu, která zvýšila kapacitu výroby nízkomolekulárních epoxidových pryskyřic na 10 kt rok^{-1} . [13] V důsledku toho se mohla výroba níže-, středně- a výšemolekulárních pryskyřic převést na postup výroby redukcí nízkomolekulární pryskyřice pomocí dianu. Výzkum byl komplikován jak množstvím odpadních vod, tak jejich složením – vysokou solností a výskytem chlorovaných uhlovodíků. [13]

2.2 Vznik gelovitých kalů

Gelovité kaly vznikají při výrobě epoxidových pryskyřic. Epoxidové pryskyřice jsou pryskyřičné látky, které se vyznačují chemickou odolností, houževnatostí a nepatrným smrštěním při vytvrzení. [14] Vynikají také velmi dobrou adhezí ke kovům a dalším materiálům, a následnou kohezí po vytvrzení. [15] Jsou to kapalné až tvrdé, křehké látky, které jsou bezbarvé, v některých případech zabarvené do žluta. Nejčastěji se epoxidové pryskyřice používají jako protikorozi ochrana nebo práškové nátěrové a lisovací hmoty. [16] Obvyklé je použití pryskyřic jako lepidlo na sklo, kovy, nebo keramiku, případně při spojování stavebních prvků. [17] Méně časté je použití při ošetřování poraněných stromů, vyplňování dutin kmenů, při ochranných nátěrech a podobně. [18]

Za úpravu odpadu je považována každá aktivita, která pomocí chemických, fyzikálních nebo biologických postupů přispívá ke změně vlastností zpracovávaného odpadu. Nejčastějšími úpravami odpadu jsou úpravy mechanické – odpad je možné drtit, mlít, třdit, stabilizovat a podobně. [19] Jedná se nejen o činnosti vedoucí ke snížení objemu odpadů, ale i redukci nebezpečných vlastností, usnadnění či samotné umožnění přepravy, další využití odpadního materiálu a podobně. [20]

Zásadní roli při snaze o docílení snadnějšího nakládání, transportu a další manipulace s gelovitými kaly z výroby epoxidových pryskyřic hraje bezpochyby podoba tohoto odpadu. Základem je co nejrychleji nebo nejefektivněji vstřebat, eventuálně oddělit kapalinu od gelovité fáze odpadu. Nejenže by se tímto způsobem snížil objem odpadního materiálu, ale výsledný odpad by byl sušší, kompaktnější a mnohem lépe manipulovatelný. Přeprava takového materiálu v kontejneru, namísto v autocisterně by byla jednoznačně přínosem. Změna chemických, respektive fyzikálních vlastností odpadních vod z výroby epoxidových pryskyřic je tak zcela klíčová.

2.3 Vlastnosti gelovitého kalu

Jedním z odpadních materiálů vznikajících při výrobě epoxidových pryskyřic je gelovitá mezivrstva kapalného odpadu s hodnotou pH 6–9. Jedná se o nehořlavé odpadní vody s katalogovým číslem 08 04 15, které obsahují lepidla, organická rozpouštědla nebo jiné nebezpečné látky, případně těsnicí materiály (obrázek 1). [21] Tyto odpadní vody obsahují polymery epoxidových pryskyřic, epoxidové pryskyřice a toluen. [22]



Obrázek 1: Vzhled gelovitého kalu z výroby epoxidových pryskyřic (červen, 2020)

Gelovité kaly z výroby epoxidových pryskyřic spadají do kategorie nebezpečných odpadů (NO). Původce nebezpečného odpadu je povinen vypracovat identifikační list nebezpečného odpadu a umístit ho na místa, kde se s tímto odpadem nakládá. [23] Mezi nebezpečné odpady se řadí ty odpady, které vykazují alespoň jednu z patnácti vlastností, nebezpečnou pro lidské zdraví nebo životní prostředí. [24] U těchto odpadních vod se konkrétně jedná o HP 14 – ekotoxické odpady, které představují okamžité nebo následné riziko pro životní prostředí, a HP 15 – nebezpečné odpady, které by při jejich likvidaci mohly do životního prostředí uvolnit nebezpečné látky. V tomto případě je pravděpodobná vlastnost HP 4 – dráždivost, tj. možný vznik zánětu při styku s kůží nebo sliznicí. [21]

2.4 Manipulace s gelovitými kaly

Odpad je sám o sobě nestálý a manipulace s ním je komplikovaná. Hlavním problémem je velké množství vody, která se od směsi zatím nedá příliš efektivně oddělit. Tím se samozřejmě zvyšuje celkový objem odpadu, se kterým se musí dále nakládat. Množství vody se omezeně daří redukovat díky principu spojených nádob. Gelovitá fáze se totiž po nějaké době dostane k hladině a u dna tak zůstává pouze kapalina obsahující rozpuštěné anorganické soli, která je odvedena do vedlejší spojené nádrže oddělené svislou přepážkou. Vzhledem k opakovanému čerání hladiny doplňovanou odpadní vodou není tento způsob příliš efektivní, protože není možné tímto způsobem odvést větší množství kapalné fáze. Nicméně je to zatím jediná možnost, jak množství téměř

čiré kapaliny v jímce alespoň trochu snížit, a oddělenou kapalinu případně znovu využít ve výrobním procesu. [25]

Odpadní vodu je nutné v pravidelných intervalech vyčerpávat z jímky, kam se vypouští, a odvážet za dalším zpracováním, protože jinak hrozí zatvrdnutí v jímce. Kapalná směs obsahuje zbytky rozpuštěných anorganických solí, rozpouštědla a hlavně pryskyřice, která způsobuje, že se kal přichytává na stěny jímky a díky pryskyřici časem tvrdne. Odpadní voda má navíc tendenci k neustálému houstnutí a vytváření dalšího gelu. Hustá gelovitá konzistence navíc způsobuje nejen zanášení jímky, ale i autocisteren, včetně příslušenství k čerpání odpadních vod. Velký problém vyvstává také v podobě poměrně vysoké teploty, kolem 80 °C, kterou má do jímky pravidelně přitékající odpadní voda, a která opotřebovává veškeré těsnicí materiály. Dalším problematickým faktorem a výraznou komplikací při převozu je zápach zbytkového rozpouštědla, kterým je toluen. [25] Je to těkavý aromatický uhlovodík, který ovlivňuje centrální nervový systém člověka. Organická rozpouštědla jsou rozpustná v tucích a mezi akutní účinky patří například pocit uvolnění, euforie, stav podobný opilosti, závratě, dezorientace, halucinace, a podobně. Toluén je rozpouštědlo používané zejména na lepidla, laky a barvy, nejen na bázi pryskyřic. [26]

Komplikovaná není jen samotná manipulace s odpadním materiálem, ale složité je i možné řešení stávajícího problému. Vzhledem k tomu, že vlastnosti gelovitých kalů komplikují nejen transport, ale i samotnou přítomnost odpadních vod v jímce, nejvýhodnější by byla úprava co nejdříve po skončení výrobního procesu.

2.5 Nakládání s gelovitými kaly

Množství odpadních vod z výroby epoxidových pryskyřic je částečně redukováno díky principu spojených nádob. V gelovitých kalech ale stále zůstává značné množství téměř čiré kapaliny, která nejenže zvyšuje celkové množství odpadu, ale mohla by být znovu využita a po přečištění vrácena zpět do výrobního procesu. V současné době gelovité kaly procházejí stabilizačními úpravami, po kterých jsou ukládány na skládce. Stabilizace slouží k úpravě odpadů nebo materiálů, kdy jsou řízeně změněny jejich vlastnosti. [20] Jedná se o fyzikálně-chemickou úpravu daného odpadu, kdy je nutné zpracování do takového stavu, aby byl co nejméně pohyblivý a co nejméně rozpustný, aby se případné nebezpečné látky přeměnily a zakonzervovaly do výsledného upraveného odpadu. [27]

2.5.1 Linka pro úpravu odpadů

Linka pro úpravu odpadů je zařízení, jehož prostřednictvím se upravené odpady mohou dále využít, případně odstranit. Jednou z možností dalšího využití odpadu je obdobným způsobem jako palivo, použitím jiných postupů k výrobě energie, nebo technologický materiál na zajištění, rekultivaci, či pro terénní úpravy skládek nebezpečných odpadů a podobně. [20]

Podstatou činnosti tohoto zařízení je řízená úprava, která vede ke změně vlastností upravovaného odpadu pomocí způsobu R12. [20] Jedná se o předúpravu odpadů s následným využitím některým ze způsobů, které jsou uvedeny pod kódem R1a, R1b, nebo R12 kam spadá například již zmíněné využívání k účelům výroby energie, jako palivo a podobně. [3] Odpad, který je takto upraven, je možné předávat pouze firmám, které provozují zařízení na využití odpadů podle kódu R1, jako jsou třeba cementárny, a které jsou oprávněny s těmito odpady nakládat. [20] Kódem R13 je označováno skladování materiálů předtím, než je aplikován některý z postupů, které jsou popsány pod kódy R1 až R12, jak je uvedeno v příloze č. 5 zákona č. 541/2020 Sb. (zákona o odpadech). [3] Linka pro úpravu odpadů umožňuje upravovat odpady nebo jejich směsi jak v tuhém, rypném stavu, tak i kaly. Materiály zajišťující energetický potenciál výsledného odpadu způsobem R1 jsou určeny a blíže specifikovány odběratelem. Patří sem například dřevní piliny nebo štěrka, uhelný prach, vápno, a další. Množství těchto příměsí závisí na fyzikálně-chemických vlastnostech odpadu, který je takto upravován a na požadavcích na výslednou kvalitu stabilizátu. [20]

Způsob odstraňování odpadů D9 umožňuje následně odstranit odpad některým ze způsobů uvedených pod kódy D1 až D12. Tyto odpady jsou odstraňovány skládkováním, případně je lze v tělese skládky využít k terénním úpravám skládky nebezpečného odpadu, zajišťovacím funkcím a podobně. Další varianty jsou obsaženy v příloze č. 6 zákona č. 541/2020 Sb. (zákona o odpadech). [3] Při nakládání s odpady s označením D9 a pro jejich stabilizaci je využíváno hydraulických pojiv získávaných při běžné výrobě v cementárnách a vápenkách, různé sorbenty, jemně namletá frakce odpadů ze stavebnictví a podobně. Vlhkost je upravována přidáváním suchých příměsí pro její snížení, a pro její zvýšení je využívána technologická voda, která se nachází v areálu, a je používána i v případě snižování prašnosti již upraveného odpadu. Takto upravené odpady se nejprve hodnotí dle výsledků vodného výluhu. Na základě těchto výsledků je vystaven protokol s hodnotami

příslušné výluhové třídy. Pro technologické úpravy skládky nebezpečného odpadu je stanoveno znečištění v rozsahu výluhové třídy IIa, IIb nebo III. Výsledný odpad je nutné uložit na skládku tak, aby nebyla narušena trvalost stabilizačních příměsí vlivem kyselých roztoků. [20]

2.5.2 Stabilizace a skládkování

V současné době jsou odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic dováženy do Provozu úpravy odpadů v Malhosticích u Rtyně nad Bílinou. Zdejší zařízení, které dokáže ročně zpracovat maximálně 40 000 t odpadu, je zkonstruované tak, aby fyzikálně-chemickou úpravou zlikvidovalo nebo dále využilo sem dopravených nebezpečných odpadů. [27]

Stabilizace je způsob upravování odpadu, který zabraňuje neřízenému úniku škodlivin z odpadu, a možnému následnému negativnímu ovlivňování životního prostředí. Úprava stabilizací je založena na změně fyzikálních, chemických nebo biologických vlastností zpracovávaného odpadu. [20] Fyzikálně-chemická úprava, tzv. stabilizace, se shoduje s kódem D9, který je popsán v příloze č. 6 zákona č. 541/2020 Sb. (zákona o odpadech). V případě D9 se jedná o takovou fyzikálně-chemickou úpravu, po které je konečný produkt sloučenina nebo směs, se kterou je dále nakládáno jedním z postupů specifikovaných pod kódy D1 až D12, přičemž dojde k likvidaci výsledného produktu. [3] Takto upravených odpadů bývá využíváno jako technologického materiálu pro zajištění skládek, případně při rekultivacích skládek. [20] V případě nakládání s odpadními vodami z výroby epoxidových pryskyřic se po stabilizaci (D9) přechází ke skládkování, tedy k ukládání materiálu na úroveň nebo pod úroveň okolní krajiny (D1). [27] Skládkování však není, vzhledem k vlastnostem a množství odpadních vod, dlouhodobě perspektivním řešením stávajícího problému. [28]

Během stabilizace se přítomné kontaminanty v nebezpečných odpadech přeměňují do co nejméně pohyblivého a co nejméně rozpustného stavu, aby se tak výrazně ovlivnilo možné uvolnění do životního prostředí. Stabilizace tedy slouží k „zakonzervování“ nebezpečných vlastností odpadů, neskládkovatelný odpad se mění na skládkovatelný. Samotnou cemento-vápennou stabilizací, která se podobá přípravě betonu, předchází ještě chemická či mechanicko-fyzikální úprava, aby se zajistila dostatečná kvalita výchozího stabilizátu. Následně je konečný produkt stabilizace uložen na skládku s označením S-OO1

nebo S-NO, podle třídy vyluhovatelnosti (I, IIa, IIb, III). Jednotlivé třídy vyluhovatelnosti popisují koncentraci škodlivých látek ve vodném výluhu odpadu. [6] Odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po stabilizaci spadají do III. kategorie vyluhovatelnosti. Stěžejním zařízením při úpravě stabilizací je homogenizér. Zde dochází k homogenizaci předem upravených odpadů a stabilizačních příměsí. Jako stabilizátor se používá např. cement, vápno a pomocné přísady, jako bentonit, chloridy apod. [27]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V této kapitole jsou popsány metodiky, které byly použity pro získání výsledků. Experiment byl realizován ve skleněném inertním prostředí, a to tak, aby byly co nejvíce napodobeny reálné podmínky v jímce, do které je odpadní voda vypouštěna. Vzorky odpadní vody s postupně přidávanými příměsemi byly umístěny do prostoru, který byl chráněn před deštěm i slunečním zářením, s neomezeným přístupem vzduchu. Na vzorky tak, stejně jako v jímce, působily venkovní teplotní rozdíly i vlhkost vzduchu.

Co se v experimentálních podmínkách nedalo zcela dokonale napodobit, jsou stěny jímky, ve které jinak gelovité kaly po vypuštění z výroby zůstávají až do transportu, a pravidelné dávky dalších horkých odpadních vod.

3.1 Metodika odběru a úpravy vzorků gelovitých kalů

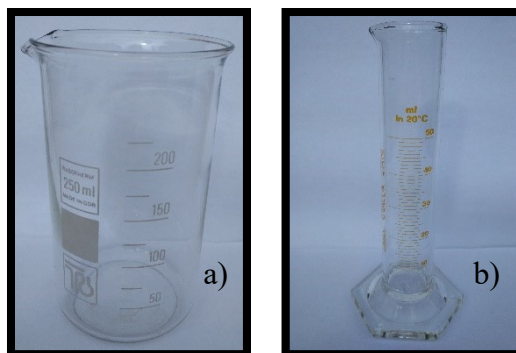
Odběr vzorků gelovitých kalů z výroby epoxidových pryskyřic byl proveden technickým pracovníkem podniku chemické a hutní výroby, a to ihned po vypuštění do jímky, při teplotě kolem 80 °C, do plastové konve s otočným uzávěrem o objemu 20 l, podle normy EN 14899:2005. Po uplynutí 24 h, řádném prochlazení a lehkém usazení, respektive oddělení gelovité a kapalné fáze, byla každá z deseti pokusných nádob naplněna odpadní vodou. Poměr kapalné a gelovité fáze se v jednotlivých vzorcích lišil, protože nebylo možné nabrat vždy potřebné množství o stejném poměru zkoumaného vzorku. Tím se samozřejmě lišila i hmotnost jednotlivých vzorků, která se tak pohybovala přibližně v rozmezí od 0,41 kg do 0,43 kg. Jednotlivé zkoumané vzorky byly vzájemně srovnávány s ohledem na rozdílné počáteční hmotnosti samotné odpadní vody, proto by nestejně hodnoty neměly mít při hodnocení konečných výsledků žádný významný vliv.

Práce s odpadem s nebezpečnými vlastnostmi není snadná. Vzhledem k enormní lepidlosti gelovitých kalů, zápachu po zbytcích toluenu a vysoké prašnosti některých příměsí, byly gumové rukavice a ústní rouška nezbytnou ochrannou pomůckou při manipulaci se zkoumanými vzorky. Vzorky byly pozorovány v několika skleněných pokusných nádobách různých velikostí. Odpadní voda, příměši i pokusné nádoby byly odvažovány na digitální kuchyňské váze Camry EK8012 (obrázek 2) s váživostí do 5 kg, s přesností $d = \pm 2$ g, proto jsou všechny hmotnostní údaje pouze přibližné.



Obrázek 2: Kuchyňská váha (červen, 2020)

Pro odvažování příměsí byla použita plastová miska s hliníkovou lžící a naběračka pro dávkování odpadní vody. Jednotlivé příměsi byly z důvodu možného objemového porovnání zachyceny v příslušných odměrných nádobách o objemu 250 ml (obrázek 3a) a válci 50 ml (obrázek 3b).



Obrázek 3: a) Odměrná nádoba o objemu 250 ml, b) Odměrný válec o objemu 50 ml (červen, 2020)

3.2 Druhy použitých příměsí pro experiment

V experimentu vedoucím k možnému dosažení požadovaných změn v chemickém nebo fyzikálním složení odpadního materiálu bylo zvoleno devět druhů příměsí. Konkrétně se jednalo o papír, piliny, hobliny, dřevní štěpku, aktivní uhlí (granulované), aktivní uhlí (práškové), hydrogel, Vapex a hnědé uhlí. Všechny použité příměsi byly vybrány na základě jejich vysoké schopnosti absorpce nebo adsorpce. Pro potřeby experimentu byly příměsi přidávány do jednotlivých vzorků odpadní vody, vždy po 0,02 kg. V některých případech byla do zkoumaných odpadních vzorků přidána již jen polovina uvedeného množství příměsí, z důvodů její vysoké absorpce. Obrázky jednotlivých příměsí slouží jednak k jejich znázornění a zároveň také k porovnání jejich objemu. Vzhledem k tomu, že byla zkoumána

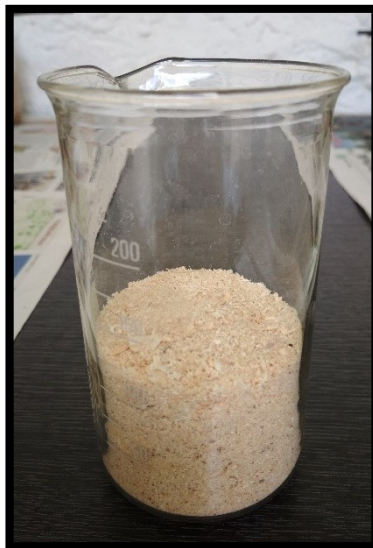
schopnost nasákavosti dílčích příměsí, byly všechny použité materiály na snímcích rovněž zachyceny i v suchém pevném stavu.

Pro účely experimentu byl jako příměs zvolen již recyklovaný, **novinový papír** (obrázek 4). Na rozdíl od lesklých letáků nejen dobře hoří, ale mnohem lépe i saje. S ohledem na snadnější manipulaci během promíchávání s odpadním vzorkem byl novinový papír nejprve skartován, tedy upraven na krátké proužky. K tomuto účelu by pravděpodobně stejně dobře posloužil i papír výměťový, tzn. odpad z výroby a zpracovávání papíru, který by se do prvotního výrobku už stejně nedostal. S ohledem na všechny používané příměsi v experimentu lze konstatovat, že manipulace s novinovým papírem patří mezi nejjednodušší ze všech zvolených přísad. Jeho hlavní předností je, že drží pohromadě, nesype se, nepráší a nešpiní. Pro potřeby experimentu ho stačí udržet v suchu a může proto být kdykoli použit.



Obrázek 4: Přídavek 0,02 kg papíru, na stupnici odměrné nádoby 150 ml (červen, 2020)

Jako další příměs byly použity **piliny** (obrázek 5), které vznikají jako dřevěný odpad zejména při řezání dřeva. Na rozdíl od hoblin, což byla další použitá příměs v experimentu, mají mnohem jemnější složení a jsou velmi lehké. Suché piliny byly v rámci experimentu použity především pro jejich vysokou adsorpční schopnost. Proto také bývají s oblibou využívány k odvodňování a sušení, nebo k odstraňování nečistot z kůže. Manipulace s pilinami byla během experimentu poměrně snadná, protože se jedná o sypký materiál, který příliš nepráší ani nešpiní. Pro potřeby experimentu ho stačí udržet v suchu a může být podobně jako novinový papír kdykoli použit.



Obrázek 5: Přídavek 0,02 kg pilin, na stupnici odměrné nádoby 125 ml (červen, 2020)

Další příměs, která byla testována během experimentu byly **hobliny** (obrázek 6), které vznikají při hoblování a opracovávání dřeva. Jak již bylo uvedeno výše, na rozdíl od pilin jsou hobliny o něco větší a mají také hrubší strukturu. Za zmínku také stojí, že na stejné množství pilin je objem hoblin zhruba dvakrát větší. Manipulace s hoblinami rovněž byla poměrně snadná, a to vzhledem k tomu, že se jedná o sypký materiál, který nepráší, nešpiní. Pro potřeby experimentu ho stačí udržet v suchu a může být kdykoli použit.



Obrázek 6: Přídavek 0,02 kg hoblin, na stupnici odměrné nádoby 300 ml (červen, 2020)

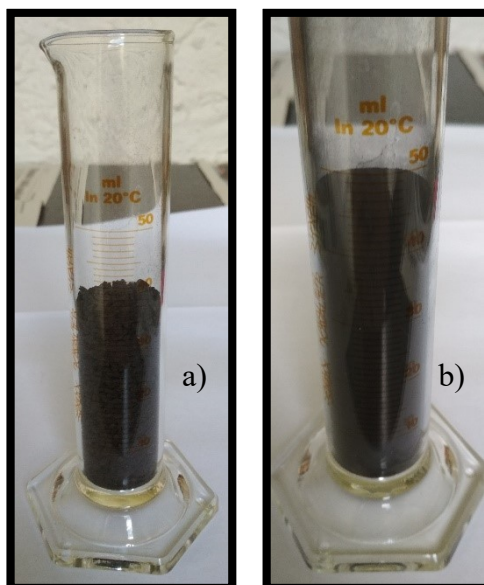
Dřevní štěpka (obrázek 7), jež byla rovněž použita v experimentu jako příměs přidávána do odpadní vody, je v podstatě nadrobno drcené dřevo. Vyrábí se ve štěpkovači. Pro výrobu štěpky je obvykle používáno odpadní, méně hodnotné dřevo, jako jsou ostříhané větve ze stromů a podobně. Manipulace s dřevní štěpkou byla rovněž poměrně snadná, a to

vzhledem k tomu, že se jedná o sypký materiál, který nepráší, nešpiní. Pro potřeby experimentu ji stačí udržet v suchu a může být kdykoli použita.



Obrázek 7: Přídavek 0,02 dřevní štěrky, na stupnici odměrné nádoby 125 ml (červen, 2020)

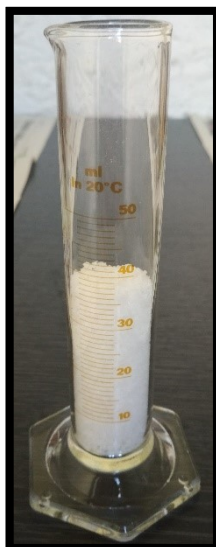
Aktivní uhlí bylo další příměsí, jež bylo během experimentu testováno. Jedná se v podstatě o uhlíkatou černou látku, která má vysokou hodnotu vnitřního povrchu. Aktivní uhlí je schopné na svůj povrch navázat celou řadu látek, a to jak z kapalné, tak i plynné fáze. Aktivní uhlí může být nejen práškové, ale i granulované, peletizované nebo impregnované. Pro účely experimentu bylo vybráno aktivní uhlí jakožto sorbent ve dvou velikostních frakcích, a to granulované (obrázek 8a) a práškové (obrázek 8b). Aktivní uhlí v podobě granulátu i prášku se jeví jako přirozený kandidát na příměs na úpravu gelovitých kalů, protože je v místě výroby epoxidových pryskyřic již používán, a proto je pro případné úpravy snadno dostupný. Manipulace s práškovým aktivním uhlím je složitější, a to především vzhledem k vysoké prašnosti. Naopak s granulovaným uhlím je již poněkud snadnější manipulace, protože materiál nepráší, ale špiní.



Obrázek 8: a) Přídavek 0,02 kg granulovaného aktivního uhlí, na stupnici odměrného válce 37 ml,

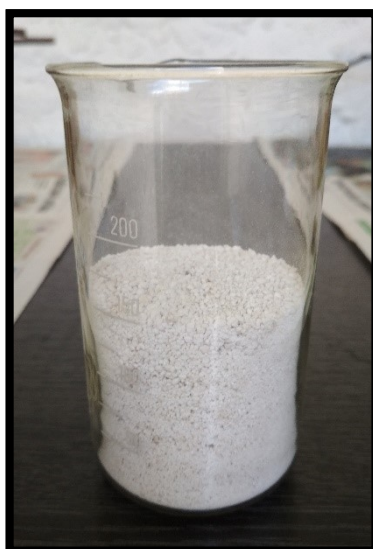
b) Přídavek 0,02 kg práškového aktivního uhlí, na stupnici odměrného válce 44 ml (červen, 2020)

Dále byl jako příměs testován **hydrogel** (obrázek 9). Jedná se o látku tvořenou bílými křehkými krystalky. Strukturou se velmi podobá mořské soli. Hydrogel je schopen nasáknout velké množství vody. Krystalky vlivem vlhkosti změkknou, zgumovají, spojí se a vytvoří větší pružné hrudky, které se už nedají zpětně rozdrobit na původní jednotlivé krystalky. Důvody pro výběr tohoto materiálu s ohledem na cíl (nasáknout co nejvíce kapaliny), jsou tedy zřejmé. Uchovávání hydrogelu a manipulace s ním však není úplně snadná, protože hydrogel má, pokud jde o uskladnění, nepříjemnou vlastnost, a to je jeho schopnost zachytávat a vstřebávat i sebemenší vzdušnou vlhkost. Je tedy nutné proto uchovávat hydrogel v uzavřených nádobách. Manipulace s hydrogelem byla rovněž poměrně snadná, podobně jako s dřevěnými příměsemi, a to vzhledem k tomu, že se jedná o sypký materiál, který nepráší, nešpiní. Pro potřeby experimentu ho stačí udržet v suchu a může být kdykoli použit.



Obrázek 9: Přídavek 0,02 kg hydrogelu, na stupnici odměrného válce 37 ml (červen, 2020)

Jako další příměs byl použit **Vapex**. Je to sypký, zrnitý, šedobílý sorbent s nízkou objemovou hmotností (obrázek 10). Jedná se v podstatě o perlit, což je hornina sopečného původu, která je hydrofobní, tudíž plave na vodní hladině. Tento sorbent je tedy jediný z vybraných příměsí, při jehož použití není očekávaná reakce s kapalnou fází zkoumaného vzorku gelovitých kalů. Vapex má však vysokou sorpční kapacitu a na svůj povrch tak může navázat například ropu, naftu, benzin, oleje, tuky nebo maziva. Mezi jeho další významné vlastnosti patří nehořlavost, zdravotní nezávadnost a neomezená trvanlivost. Jeho nevýhodou je, že jeho účinek může být snižován dlouhodobým působením solí. Manipulace s Vapexem byla složitější, vzhledem k jeho nízké objemové hmotnosti a vysoké prašnosti, je nutné ho uchovávat v suchu, v původním balení.



Obrázek 10: Přídavek 0,02 kg Vapexu, na stupnici odměrné nádoby 150 ml (červen, 2020)

Hnědé uhlí (obrázek 11) bylo poslední testovanou příměsí. Jedná se o matnou, hnědou až černohnědou hořlavou horninu. Manipulace s uhlím byla poměrně snadná, protože materiál nepráší. Jeho nevýhodou je, že špiní.



Obrázek 11: Přídavek 0,02 kg hnědého uhlí, na stupnici odměrného válce 30 ml (červen, 2020)

3.3 Metodika vlastního experimentu

Zároveň s rozdělením odpadní vody do experimentálních nádob, do sklenic o objemu 720 ml, bylo do devíti z nich přidáno 0,02 kg, postupně od každé příměsi (papíru, pilin, hoblin, dřevní štěpky, granulovaného a práškového aktivního uhlí, hydrogelu, Vapexu a hnědého uhlí) a řádně promícháno (obrázek 12).



Obrázek 12: Vzorky odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic s přidávanými příměsemi (červen, 2020)

Jeden vzorek byl ponechán čistý, tedy bez příměsí, pro účely pozorování změn v chování a vzhledu samotné odpadní vody v průběhu experimentu. Příměsí práškové aktivní uhlí a Vapex se s gelovitým kalem promíchávaly jen velmi obtížně, což bylo způsobeno vysokou prašností příměsí. Pro potřeby experimentu byly příměsí přidávány v co nejsušší formě. Případná první reakce byla pozorována, respektive zaznamenána, po uplynutí 24 h, a následně zvýšena dávka příměsí. V případě, že ve zkoumaných vzorcích odpadní vody nebyla po 48 h pozorována žádná viditelná změna s danou příměsí, například změna v poměru gelovité a kapalné fáze, byl konkrétní vzorek s příslušnou příměsí z experimentu vyřazen a dále již nebyl pozorován. Rovněž byly vyřazeny i vzorky s nedostatečně rychlou změnou pozorovaných vlastností, případně vzorky, které si stále udržovaly vysokou vlhkost. Naopak do zkoumaných vzorků s odpadní vodou, u kterých bylo po 48 h v jisté míře dosaženo požadované změny vlastností, byla přidána ještě třetí, poslední dávka příslušné příměsí, opět 0,02 kg, a následně byly tyto vzorky podrobeny další úpravě za použití vápna, postupným přidáváním 0,02 kg po 24 h, až na konečné množství 0,06 kg vápna.

4 VYHODNOCENÍ POSTUPŮ OPTIMALIZACE GELOVITÝCH KALŮ

Zásadní roli při snaze o docílení snadnějšího nakládání, transportu a další manipulace s gelovitými kaly z výroby epoxidových pryskyřic hraje bezpochyby podoba tohoto odpadu. Účelem experimentu je tedy co nejrychleji nebo nejefektivněji vstřebat, eventuálně oddělit kapalinu od gelovité fáze odpadu. Nejenže by se tímto způsobem snížil objem odpadního materiálu, ale výsledný odpad by byl sušší, kompaktnější a mnohem lépe manipulovatelný. Přeprava takového materiálu v kontejneru, namísto v autocisterně by tak byla jednoznačně výhodou. Změna chemických, respektive fyzikálních vlastností odpadních vod z výroby epoxidových pryskyřic je tak zcela klíčová.

4.1 Vyhodnocení reakce vzorku s novinovým papírem

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,424 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsi novinového papíru (0,02 kg). Ten zůstal po vmíchání v pokusné nádobě rovnoměrně rozptýlen (obrázek 13).



Obrázek 13: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 24 h (červen, 2020)

Po 24 h se poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu z výroby epoxidových pryskyřic výrazně změnil. Papír podle očekávání vstřebal prakticky veškerou kapalnou fázi ve vzorku, čímž vznikla kašovitá, velmi hustá lepivá hmota. Po zamíchání vzniklé hmoty

v nádobě byla stále patrná téměř čirá kapalina, a proto byla přidána ještě další dávka příměsí, tedy opět 0,02 kg. Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic prakticky reagoval již s 0,04 kg novinového papíru. Vše bylo pečlivě a snadno promícháno. Papír po vmíchání další dávky setrval v pokusné nádobě stále rovnoměrně rozptýlen a opět vstřebal přebytečnou kapalinu ze vzorku. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h. Zkoumaný vzorek vydával slabý zápach po zbytcích ředidla.

Po 48 h působení novinového papíru se vzorkem odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic byl vzorek opět promíchán. Po zamíchání se zkoumaná hmota poměrně dobře odlepovala od stěn pokusné nádoby (obrázek 14). Vzorek byl ale stále velice vlhký, a proto bylo přidáno ještě dalších 0,02 kg příměsí (celkové množství v nádobě již bylo 0,06 kg příměsí) a vše bylo znovu pečlivě promícháno. Zkoumaný vzorek se z důvodu stísněného prostoru v pokusné nádobě míchal jen velmi obtížně. Novinový papír po vmíchání další dávky setrval stále rovnoměrně rozptýlen v pokusné nádobě, a opět vstřebal přebytečnou kapalinu ze vzorku. Zkoumaný vzorek vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 72 h).



Obrázek 14: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 48 h (červen, 2020)

Vzorek odpadní vody po 72 h prakticky reagoval s 0,06 kg novinového papíru. Zkoumaný vzorek byl stále ještě trochu vlhký, lepkavý a vydával slabý zápach po zbytcích ředidla (obrázek 15). Následně byl vzorek podroben dalším úpravám za použití vápna

s cílem ještě více snížit vlhkost a lepivost zkoumaného vzorku, proto již nebyla přidána další dávka příměsi novinového papíru.



Obrázek 15: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 72 h (červen, 2020)

4.2 Vyhodnocení reakce vzorku s pilinami

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,430 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsi pilin o hmotnosti 0,02 kg. Po 24 h se poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu výrazně změnil. Piliny vstřebaly prakticky většinu kapalné fáze ze vzorku, čímž vznikla řídká, gelovitá, silně lepivá hmota (obrázek 16).



Obrázek 16: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 24 h (červen, 2020)

Piliny po vmíchání zůstaly rovnoměrně rozptýleny v gelovité fázi u dna pokusné nádoby. U hladiny vzorku se oddělila slabá vrstva téměř čiré kapaliny, a proto byla přidána další dávka příměsi pilin o hmotnosti opět 0,02 kg (celková dávka příměsi byla 0,04 kg). Vše bylo pečlivě a snadno promícháno. Zkoumaný vzorek vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po 48 h tak reagoval s 0,04 kg pilin. Následně po zamíchání se zkoumaná hmota poměrně dobře odlepovala od stěn nádoby. U hladiny se od vzorku oddělilo malé množství mléčně zbarvené kapaliny (obrázek 17). Vzorek byl ale stále velice vlhký, a proto byla přidána ještě další dávka příměsi pilin, opět 0,02 kg (celková dávka příměsi byla 0,06 kg). Vše bylo opět pečlivě a snadno promícháno. Zkoumaný vzorek vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 72 h).



Obrázek 17: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 48 h (červen, 2020)

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po 72 h reagoval s 0,06 kg pilin. Ty po vmíchání další dávky příměsi pilin setrvaly stále rovnoměrně rozptýlené v pokusné nádobě (obrázek 18). Zkoumaný vzorek byl stále ještě trochu vlhký, lepkavý a vydával kromě slabého zápachu po zbytcích ředidla i nepatrnou vůni po dřevě. Dále byl vzorek podroben dalším úpravám za pomoci vápna s cílem ještě více snížit vlhkost a lepkavost zkoumaného vzorku, proto již nebyla přidána další dávka příměsi pilin.



Obrázek 18: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 72 h (červen, 2020)

4.3 Vyhodnocení reakce vzorku s hoblinami

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,426 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsí hoblin o hmotnosti 0,02 kg. Hobliny po vmíchání zůstaly rovnoměrně rozptýleny v gelovité fázi u dna pokusné nádoby. Po 24 h se poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu výrazně změnil. Hobliny vstřebaly většinu kapalné fáze ze vzorku, čímž vznikla hustší, gelovitá, silně lepivá hmota (obrázek 19).



Obrázek 19: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 24 h (červen, 2020)

U hladiny vzorku se oddělila velmi slabá vrstva téměř čiré kapaliny, a proto byla přidána ještě další dávka příměsí hoblin, opět o hmotnosti 0,02 kg (celková dávka příměsí byla 0,04 kg). Vše bylo pečlivě a snadno promícháno. Hobliny po vmíchání další dávky setrvaly stále rovnoměrně rozptýleny u dna pokusné nádoby. Zkoumaný vzorek vydával středně silný zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po 48 h reagoval s 0,04 kg hoblin. Následně po zamíchání se zkoumaná hmota poměrně dobře odlepovala od stěn nádoby (obrázek 20). U hladiny však stále byla patrná téměř čirá kapalina, a proto byla přidána ještě další dávka příměsí hoblin, opět o hmotnosti 0,02 kg (celková dávka příměsí byla 0,06 kg). Vše bylo opět pečlivě promícháno. Zkoumaný vzorek se z důvodu stísněného prostoru v pokusné nádobě míchal jen velmi obtížně a vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 72 h).



Obrázek 20: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 48 h (červen, 2020)

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po 72 h reagoval s 0,06 kg hoblin. Ty po vmíchání další dávky setrvaly stále rovnoměrně rozptýleny v pokusné nádobě (obrázek 21). Zkoumaný vzorek byl však stále vlhký, lepivý a vydával kromě slabého zápachu po zbytcích ředidla i nepatrnou vůni dřeva. Dále byl vzorek podroben dalším úpravám za použití vápna s cílem ještě více snížit vlhkost a lepivost zkoumaného vzorku, proto již nebyla přidána další dávka příměsí.



Obrázek 21: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 72 h (červen, 2020)

4.4 Vyhodnocení reakce vzorku s dřevní štěpkou

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,416 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsí dřevní štěpky o hmotnosti 0,02 kg, která po vmíchání zůstala v pokusné nádobě plavat u hladiny. Oproti očekávání se po 24 h poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu vůbec nezměnil. Dřevní štěpka, na rozdíl od dalších použitých dřevěných příměsí (piliny a hobliny), kapalnou fázi nevsákla prakticky vůbec. Ihned po zamíchání se gelovitá fáze opětovně usadila u dna pokusné nádoby, a dřevní štěpka plavala u hladiny kapalně fáze (obrázek 22).



Obrázek 22: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí dřevní štěpky po 24 h (červen, 2020)

Z důvodu pozorování případné reakce byla opět přidána další dávka příměsí dřevní štěpky, opět 0,02 kg (celková dávka příměsí byla 0,04 kg), a vše pečlivě, snadno promícháno. Dřevní štěpka po vmíchání další dávky zůstala plavat u hladiny pokusné nádoby v kapalně fázi zkoumaného vzorku. Zkoumaný vzorek vydával středně silný zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po 48 h reagoval s 0,04 kg dřevní štěpky (obrázek 23). Zkoumaný vzorek vydával již jen velmi slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzhledem k tomu, že se ani po 48 h poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu vůbec nezměnil, a také tomu, že zkoumaný vzorek nevykazoval žádné jiné změny, které by mohly vést k požadované úpravě skupenství nebo struktury, byl vzorek s přidanou příměsí dřevní štěpky z experimentu vyřazen a dále již nebyl pozorován.



Obrázek 23: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí dřevní štěpky po 48 h (červen, 2020)

4.5 Vyhodnocení reakce vzorku s granulátem aktivního uhlí

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,422 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsí granulátu aktivního uhlí o hmotnosti 0,02 kg. Po 24 h se poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu vůbec nezměnil. Granulát aktivního uhlí navíc po vmíchání obarvil oddělenou kapalnou fází do černa a v pokusné nádobě zůstal nerovnoměrně rozptýlen v gelovité i kapalně fázi (obrázek 24).



Obrázek 24: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí granulátu po 24 h (červen, 2020)

Z důvodu pozorování případné další reakce mezi přidaným granulátem a odpadní vodou z výroby epoxidových pryskyřic byla ještě přidána další dávka příměsí granulovaného aktivního uhlí, opět 0,02 kg (celková dávka příměsí byla 0,04 kg). Vše bylo opět pečlivě a snadno promícháno, avšak granulát aktivního uhlí zůstal v pokusné nádobě nerovnoměrně rozptýlen v gelovité i kapalně fázi. Zkoumaný vzorek vydával silný zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po 48 h reagoval s 0,04 kg granulátu aktivního uhlí (obrázek 25). Zkoumaný vzorek vydával silný zápach po zbytcích ředidla. Vzhledem k tomu, že se ani po 48 h poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu vůbec nezměnil, a také proto, že vzorek nevykazoval žádné jiné změny, které by mohly vést k požadované úpravě skupenství nebo struktury, byl vzorek s přidanou příměsí granulovaného aktivního uhlí z experimentu vyrazen a dále již nebyl pozorován.



Obrázek 25: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí granulátu po 48 h (červen, 2020)

4.6 Vyhodnocení reakce vzorku s práškovým aktivním uhlím

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,410 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsí práškového aktivního uhlí o hmotnosti 0,02 kg. Po 24 h se poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu, podobně jako u granulátu, rovněž vůbec nezměnil. Práškové aktivní uhlí po vmíchání obarvilo gelovitou fází u dna pokusné nádoby na černo (obrázek 26).



Obrázek 26: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí prášku po 24 h (červen, 2020)

Gelovitá fáze u dna se úplně neoddělila, zůstala propojená se vznosem aktivního uhlí ve vodním sloupci pokusné nádoby. Z důvodu pozorování případné reakce byla proto přidána ještě další dávka příměsi práškového aktivního uhlí o hmotnosti 0,02 kg (celková dávka příměsi byla 0,04 kg). Vše bylo pečlivě promícháno. Zkoumaný vzorek se v pokusné nádobě z důvodu vysoké prašnosti příměsi míchal jen velmi obtížně, a vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).

Vzorek odpadní vody po 48 h reagoval s 0,04 kg práškového aktivního uhlí. Pod hladinou pokrytou aktivním uhlím se oddělila téměř čirá kapalina od černé gelovité fáze u dna vzorku (obrázek 27). Zkoumaný vzorek vydával velmi slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzhledem k tomu, že se ani po 48 h poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu vůbec nezměnil, a také proto, že vzorek nevykazoval žádné jiné změny, které by mohly vést k požadované úpravě skupenství nebo struktury, byl vzorek s přidanou příměsí práškového aktivního uhlí z experimentu vyřazen a dále již nebyl pozorován.



Obrázek 27: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí prášku po 48 h (červen, 2020)

4.7 Vyhodnocení reakce vzorku s hydrogelem

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,422 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsi hydrogelu o hmotnosti 0,02 kg, který po vmíchání zůstal poměrně rovnoměrně rozptýlen v pokusné nádobě (obrázek 28). Po 24 h se poměr

mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu výrazně změnil. Hydrogel podle očekávání vstřebal kapalnou fázi ze vzorku, čímž vznikla kašovitá, velmi hustá a lepivá hmota. Následně po zamíchání byla v nádobě stále patrná téměř čirá kapalina. Vzhledem k vysoké schopnosti absorpce této příměsi, byla dále přidána pouze poloviční dávka příměsi, tedy 0,01 kg (celková dávka příměsi byla 0,03 kg). Vše bylo opět pečlivě promícháno. Zkoumaný vzorek vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).



Obrázek 28: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hydrogelu po 24 h (červen, 2020)

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po dobu 48 h reagoval s 0,03 kg hydrogelu. Ten po vmíchání další dávky setrval stále rovnoměrně rozptýlen v pokusné nádobě (obrázek 29), a opět vstřebal přebytečnou kapalinu ze vzorku. Vzorek si však stále udržoval veškerou vlhkost, a proto při míchání zůstal přilepený ke stěnám nádoby.

Vzhledem k vysoké schopnosti absorpce příměsi byla opět přidána jen poloviční dávka příměsi hydrogelu (celková dávka příměsi byla 0,04 kg). Vše bylo opět pečlivě a snadno promícháno. Hydrogel po vmíchání další dávky setrval stále rovnoměrně rozptýlen v pokusné nádobě. Zkoumaný vzorek vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 72 h).



Obrázek 29: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hydrogelu po 48 h (červen, 2020)

Vzorek odpadní vody po 72 h reagoval s 0,04 kg hydrogelu (obrázek 30). Po 72 h se sice poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu výrazně změnil, ale vzorek si uchoval veškerou vlhkost, byl nadále lepivý a vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Hydrogel podle očekávání sice vstřebal veškerou kapalnou fázi ze vzorku odpadní vody, avšak na rozdíl od papíru, pilin nebo hoblin nedošlo k potřebnému vysušení zkoumaného vzorku vedoucím k požadované změně skupenství nebo struktury výsledné hmoty. Proto byl vzorek s přidanou příměsí hydrogelu z experimentu vyřazen a dále již nebyl pozorován.



Obrázek 30: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hydrogelu po 72 h (červen, 2020)

4.8 Vyhodnocení reakce vzorku s Vapexem

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,410 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsi Vapexu o hmotnosti 0,02 kg. Po 24 h se však poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu příliš nezměnil. Vapex, na rozdíl od všech ostatních příměsí, navázal gelovitou fází, se kterou plaval u hladiny (obrázek 31).



Obrázek 31: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí Vapexu po 24 h (červen, 2020)

U dna pokusné nádoby naopak zůstala téměř čirá kapalina, která i navzdory promíchání zůstala striktně oddělená. S úmyslem eliminovat lepivost vzorku, byla přidána další, již pouze poloviční, dávka příměsi Vapexu, tedy 0,01 kg (celková dávka příměsi byla 0,03 kg). Vše bylo pečlivě promícháno. Zkoumaný vzorek se v pokusné nádobě z důvodu vysoké prašnosti příměsi míchal jen velmi obtížně, a vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic po 48 h reagoval s 0,03 kg Vapexu (obrázek 32). Vzorek, strukturou připomínající mokrá píseň, který již téměř nelepil, stále vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vapex již dostatečně oddělil gelovitou fází od té kapalné, a proto nebyla přidána další dávka příměsi. S cílem odstranit kapalinu z gelovité hmoty s navázaným Vapexem byl vzorek podroben dalším úpravám.



Obrázek 32: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí Vapexu po 48 h (červen, 2020)

4.9 Vyhodnocení reakce vzorku s hnědým uhlím

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic o hmotnosti 0,416 kg byl po dobu 24 h vystaven působení příměsí hnědého uhlí o hmotnosti 0,02 kg. Po 24 h se poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu vůbec nezměnil. Hnědé uhlí po vmíchání lehce zbarvilo oddělenou kapalnou fázi do světle hněda a usadilo se v gelovité fázi, převážně na dně pokusné nádoby (obrázek 33). Povrch gelovité fáze se pokryl prachem z hnědého uhlí.



Obrázek 33: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hnědého uhlí po 24 h (červen, 2020)

Z důvodu pozorování případné reakce byla proto ještě přidána další dávka příměsí hnědého uhlí o hmotnosti 0,02 kg (celková dávka příměsí byla 0,04 kg). Vše bylo pečlivě a snadno promícháno (obrázek 34). Vzniklá hmota byla ponechána v klidu dalších 24 h (celková doba experimentu již byla 48 h).

Vzorek odpadní vody po 48 h reagoval s 0,04 kg hnědého uhlí. Zkoumaný vzorek vydával slabý zápach po zbytcích ředidla. Vzhledem k tomu, že se ani po 48 h poměr mezi kapalnou a gelovitou fází odpadu vůbec nezměnil, a také proto, že vzorek nevykazoval žádné jiné změny, které by mohly vést k požadované úpravě skupenství nebo struktury, byl vzorek s přidanou příměsí hnědého uhlí z experimentu vyřazen a dále již nebyl pozorován.



Obrázek 34: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hnědého uhlí po 48 h (červen, 2020)

4.10 Vyhodnocení následných úprav pro vybrané nejvhodnější příměsí

V experimentu vedoucímu k možnému dosažení požadovaných změn v chemickém nebo fyzikálním složení gelovitých kalů z výroby epoxidových pryskyřic byly vzorky odpadu z výroby epoxidových pryskyřic vystaveny působení devíti různých příměsí. Vzorky, u kterých nebyla pozorována viditelná nebo dostatečně rychlá reakce s příměsí, již nebyly součástí dalšího pozorování. Naopak vzorky se slibnou reakcí s příměsemi (tj. novinový papír, piliny, hobliny a Vapex) byly, s odstupem několika týdnů, následně podrobeny ještě dalším úpravám. Poznatky a závěry z těchto experimentů jsou popsány v následujících kapitolách.

4.10.1 Vzorek s papírem, pilinami a hoblinami

Zkoumané vzorky odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic s příměsí novinového papíru, pilin a hoblin reagovaly velmi podobně. Všechny tyto příměsi absorbovaly z odpadní vody kapalnou fázi, a staly se tak součástí odpadu. Vzhledem k tomu, že příměsí bylo ve všech třech vzorcích stejné množství (0,06 kg), bylo možné porovnat nejen stav všech tří vzorků navzájem (tj. novinový papír, piliny a hobliny), ale i oba vzorky s různými frakcemi dřevěné příměsi mezi sebou (tj. piliny a hobliny).

Vzájemnou podobnost mezi těmito třemi vzorky dokazuje také odpar vody. Přidáním příměsí sice celková hmotnost vzorků logicky vzrostla a pohybovala se tak mezi 0,484 kg až 0,490 kg, ale po několika týdnech, vlivem odparu vody, se hmotnost všech tří vzorků shodně snížila o necelých 0,1 kg, tedy zhruba o pětinu. Hmotnost jednotlivých vzorků se tak před dalšími úpravami pohybovala v rozmezí od 0,388 kg až 0,396 kg. Popsaný nárůst a následný pokles hmotnosti zkoumaných vzorků v průběhu jednoho měsíce, (tj. doba od odvážení čistého odpadu bez příměsí, bezprostředně po rozdělení do pokusných nádob, do zjišťování hmotnosti jednotlivých vzorků před dalšími úpravami) je rovněž patrný z hodnot uvedených v tabulce 2. Hmotnost odpadní vody (bez příměsí) tvoří s hmotností příměsí celkovou hmotnost. Po měsíčním působení příměsí s odpadní vodou z výroby epoxidových pryskyřic je popsána jako hmotnost vzorku. S těmito údaji bylo ještě dále nakládáno. Rozdíl v hmotnostech dokazuje, že všechny tři přidané materiály reagovaly s odpadní vodou z výroby epoxidových pryskyřic velmi podobně. Všechny tři vzorky byly proto dále pozorovány a sledované vlastnosti pak vzájemně také porovnávány.

Tabulka 2: Hmotnostní porovnání jednotlivých vzorků odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsemi

Příměs	Hmotnost odpadní vody kg	Hmotnost příměsí kg	Celková hmotnost kg	Pauza dny	Hmotnost vzorku kg
Papír	0,424	0,060	0,484	30	0,388
Piliny	0,430	0,060	0,490	30	0,396
Hobliny	0,426	0,060	0,486	30	0,392

K dosažení požadovaných změn nestačilo sledovat pouze hmotnostní rozdíly, ale hlavně formu a vzhled odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic s přidanými příměsemi. Před dalšími úpravami byly proto vzorky nejen zváženy, ale byla porovnána i jejich vlhkost, lepivost a celková struktura. Všechny tři příměsi po přidání do odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic způsobily výraznou změnu skupenství zkoumaných

vzorků. Materiál byl víceméně sypký a pro jeho skladování či přepravu by nadále nebyly potřeba cisterny, stačily by pouze kontejnery. Nicméně vzorky prošly ještě dalšími úpravami s cílem ještě více je vysušit a zároveň také snížit jejich lepivost.

Zkoumaný vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí novinového papíru byl po 30 dnech stále lehce lepivý a vlhký tak, že po stlačení držel tvar (obrázek 35). Vzhledem k tomu, že hlavním záměrem experimentu byla změna skupenství odpadních vod pro jejich snadnější transport, vypadal zkoumaný vzorek po působení příměsí novinového papíru velmi dobře.



Obrázek 35: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 30 dnech (červenec, 2020)

Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin, na rozdíl od vzorků s příměsí hoblin a papíru, byl více lepivý, ale zase sušší a poměrně sypký, proto po stlačení příliš nedržel pohromadě (obrázek 36). Vzhledem k tomu, že hlavním záměrem experimentu byla změna skupenství odpadních vod pro jejich snadnější transport, vypadal zkoumaný vzorek po působení příměsí pilin velmi dobře.



Obrázek 36: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 30 dnech (červenec, 2020)

Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin byl ze všech tří zkoumaných vzorků viditelně nejvlhčí, a přestože byl stále lehce lepivý, struktura hoblin nedovolovala spojování materiálu s následným vytvářením hrudek (obrázek 37). Vzhledem k tomu, že hlavním záměrem experimentu byla změna skupenství odpadních vod pro jejich snadnější transport, vypadal zkoumaný vzorek po působení příměsi hoblin velmi dobře.

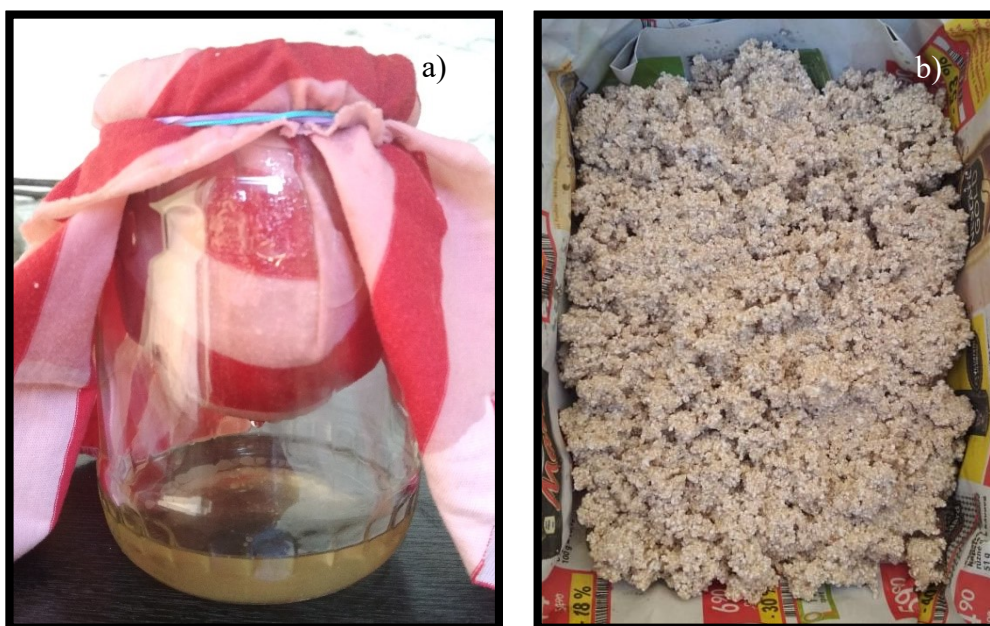


Obrázek 37: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 30 dnech (červenec, 2020)

4.10.2 Vzorek s Vapexem

Čtvrtou příměsí, která způsobila požadovanou změnu, byl Vapex. Vzhledem k tomu, že Vapexu bylo použito o polovinu méně než u předešlých tří příměsí, přirozeně se i výsledná hmotnost vzorku po přidání příměsí zvýšila na pouhé 0,44 kg. V porovnání se vzorky odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí novinového papíru, pilin a hoblin, bylo však snížení hmotnosti, při vážení po 30 dnech bez vnějšího zásahu, téměř dvojnásobné. Hmotnost vzorku klesla z 0,44 kg na 0,26 kg. Na rozdíl od zbylých příměsí, Vapex, díky svému hydrofobnímu charakteru, navázal gelovitou fází odpadních vod z výroby pryskyřic, čímž striktně oddělil kapalnou fázi od gelovité. Je možné tedy dále pracovat s kapalinou a víceméně sypkou částí odpadu zvlášť. To znamená, že se po oddělení kapaliny, kterou je možné po přečištění opětovně použít ve výrobním procesu, nejen sníží objem, ale i celková hmotnost odpadu, který je nutné dále upravit a zpracovat.

Vzhledem k rozdílnému průběhu působení Vapexu na odpadní vodu z výroby pryskyřic, bylo nutné před dalšími úpravami odseparovat ze vzorku zbytky kapalně fáze (obrázek 38a). Tak došlo k oddělení kapalně fáze od zbytku vzorku (obrázek 38b). Odseparovaná kapalná fáze obsahovala mléčně zbarvené gelovité zbytky, které ale již dále nebyly pro potřeby experimentu zkoumány. Ve výsledku gelovitá fáze tvořila s Vapexem nepříliš sypký, vlhký a lepivý materiál, který byl dále ještě upravován. Celková hmotnost odpadu, se kterým bylo dále nakládáno, se snížila přibližně na 0,144 kg.



Obrázek 38: a) Odseparování gelovité fáze, b) Samostatná gelovitá fáze vzorku s Vapexem (červenec, 2020)

Paralelně s dalšími úpravami ostatních vzorků byla založena nová pokusná nádoba s příměsí Vapexu, která byla označena jako Vapex II. Vzhledem k tomu, že se jednalo o příměs s nejnadějnější reakcí, byl za stejných podmínek vytvořen druhý vzorek, aby bylo možné zjistit, při jakém, pokud možno nejmenším množství, je Vapex ještě schopen způsobit výslednou změnu. Dalším zkoumaným faktorem byla také doba potřebná pro celkovou úpravu odpadu.

V prvním vzorku odpadní vody z výroby pryskyřic o hmotnosti 0,410 kg s příměsí Vapexu o hmotnosti 0,02 kg (dávkováno ihned) a 0,01 kg (dávkováno po 24 h) nebyla po 48 h již pozorována žádná další výrazná změna. Proto bylo rozhodnuto založit druhý vzorek, který byl odebrán ze stejné dávky odpadu jako vzorek první, tzn. na vzorek označený jako Vapex II byla použita odpadní voda odebraná z jímky před měsícem, díky čemuž bylo možné zjistit, zda se Vapex hodí k upravování gelovitých kalů, které byly odebrány před dobou delší než 24 h.

Do druhého vzorku odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí Vapexu (v textu dále bude značeno jako Vapex II) byla již na začátku experimentu přidána pouze polovina obvyklé dávky příměsi, tedy 0,01 kg, a vše bylo promícháno. Avšak po kontrole stavu experimentu, tedy po 24 h, vzorek nevykazoval dostatečnou změnu v oddělování gelovité a kapalné fáze. Na základě této skutečnosti byla proto vmíchána ještě druhá, opět poloviční dávka příměsi Vapexu. Po 48 h již zkoumaný vzorek (celková dávka příměsi byla 0,02 kg) dostatečně vykazoval potřebnou změnu, a mohl tak být podroben dvoudenní separaci kapalné fáze. Následná kontrola hmotnosti vzorku proběhla s týdenním odstupem od rozdělování odpadní vody do pokusné nádoby. Hmotnostní údaje z pozorování Vapexu a Vapexu II jsou uvedeny v následující tabulce 3. Za zmínku stojí, že v případě vzorku s Vapexem II bylo použito menší množství Vapexu, a i přes kratší působení příměsi jsou si hodnoty gelovité fáze s příměsí (viz sloupec „K další úpravě“) a kapalné fáze (viz sloupec „Zpět do výroby“) velmi podobné.

Dalším podstatným rozdílem, kterým se zkoumaný vzorek s Vapexem liší od těch zbylých příměsí (papír, piliny a hobliny), je celkové množství odpadu, se kterým bude nutné dále nakládat. Vzhledem k úspěšnému oddělení kapalné fáze bude po různě dlouhých pauzách, na rozdíl od ostatních vzorků, dále zpracováváno jen cca 55 % (v případě Vapexu) a 61 % (v případě Vapexu II) odpadu z celkové hmotnosti vzorků.

Tabulka 3: Hmotnostní porovnání zkoumaných vzorků s Vapexem

Příměs	Hmotnost odpadní vody kg	Hmotnost příměsí kg	Celková hmotnost kg	Pauza dny	Hmotnost vzorku kg	K další úpravě kg	Zpět do výroby Kg
Vapex	0,410	0,030	0,440	30	0,260	0,144	0,116
Vapex II	0,460	0,020	0,480	10	0,278	0,162	0,116

4.10.3 Vyhodnocení následné úpravy vápnem

Další metodou, jak vhodně upravit již poměrně sypký odpad, je přimíchání vápna. To bylo po 30denní pauze ke zkoumaným vzorkům přidáváno postupně, opět po dávkách 0,02 kg, a to až na konečné množství 0,06 kg vápna. Obsah pokusné nádoby byl vždy pečlivě promíchán, vlastnosti materiálu se znovu začaly pomalu měnit, a postupem času se zkoumané vzorky dostaly až ke konečné požadované změně skupenství.

Výsledný materiál byl po postupném přimíchání vápna během 72 h (po 30denní pauze) u všech tří zkoumaných vzorků (tj. s novinovým papírem, pilinami a hoblinami) víceméně sypký. Vzorek s příměsí novinového papíru měl po vysušení strukturu podobnou žvýkačce. Vznikly malé měkké papírové žmolky a hrudky (obrázek 39).



Obrázek 39: Vzorek po reakci odpadní vody (s příměsí papíru) s vápnem během 72 h (červenec, 2020)

Vzorek odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic s příměsí pilin byl po přidání vápna stále viditelně sušší než vzorek s příměsí hoblin. Měl sice mírnou tendenci k vytváření hrudek, ale i přesto byl poměrně sypký (obrázek 40).



Obrázek 40: Vzorek po reakci odpadní vody (s příměsí pilin) s vápnem během 72 h (červenec, 2020)

Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin byl po přidání vápna také o něco sušší než před ním, ale na rozdíl od zkoumaného vzorku s příměsí pilin se stále vůbec nespojoval a nehrudkovatěl, zůstal tedy relativně sypký (obrázek 41).



Obrázek 41: Vzorek po reakci odpadní vody (s příměsí hoblin) s vápnem během 72 h (červenec, 2020)

Hodnoty uvedené v následující tabulce 4 sledují nejen změnu v hmotnostech jednotlivých vzorků po přidání vápna, ale zároveň lze i porovnat původní hmotnost samotného odpadu a konečnou hmotnost po veškerých úpravách.

Tabulka 4: Závěrečný přehled pro porovnání konečných hmotností

Vzorek s příměsí	Hmotnost vzorku kg	Hmotnost příměsí kg	Konečná hmotnost vzorku kg	Poč. hmotnost odpadní vody kg	Hmotnostní změna %
Papír	0,388	0,060	0,448	0,424	5,660
Piliny	0,396	0,060	0,456	0,430	6,050
Hobliny	0,392	0,060	0,452	0,426	6,100

Z tabulky vyplývá, že konečná hmotnost upraveného odpadu je u všech tří příměsí o něco vyšší než hmotnost samotné odpadní vody před přidáním jednotlivých příměsí. I přesto, že se počáteční hmotnosti odpadu liší, a vzhledem k drobným odchylkám v rámci vážení, jsou procentuální hodnoty nárůstu hmotností srovnatelné.

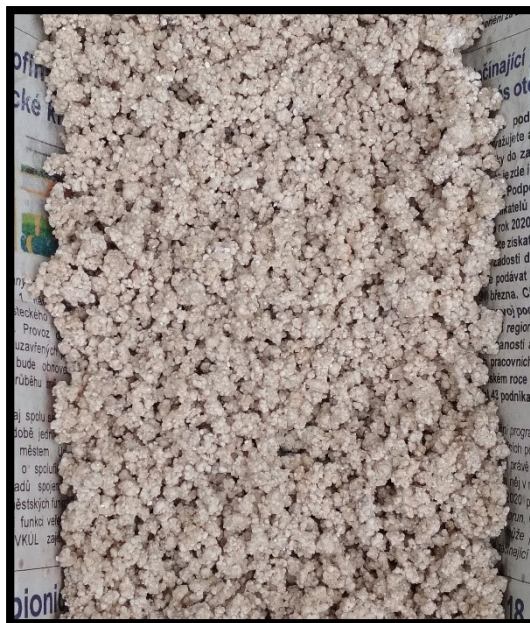
Zkoumaný vzorek s Vapexem byl po odseparování kapaliny slepený do velkých hrudek, vlhký, lepivý, a dal se lehce tvarovat (obrázek 42).



Obrázek 42: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s Vapexem po odseparování kapaliny (červenec, 2020)

Avšak po důkladném vmíchání jednotlivých dávek vápna během 72 h byla pozorovaná hmota sušší a méně lepivá. Postupně přidávané vápno, až na konečné množství 0,06 kg, způsobilo, že se vytvořené hrudky rozdrobily na drobnější části. Na rozdíl od zbylých vzorků s příměsí novinového papíru, pilin a hoblin, to vypadalo, že vápno pouze obalilo lepivé hrudky vzorku, a dále již nemělo žádný další viditelný důsledek.

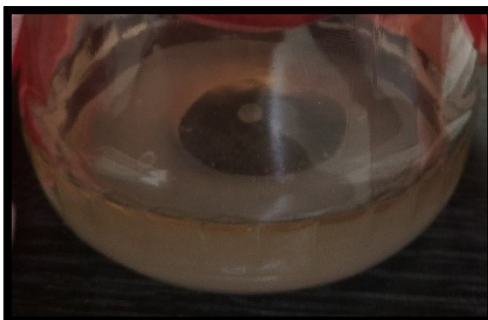
Právě díky lehké lepivosti zkoumaného materiálu by k rozbití hrudek nemuselo být použito pouze vápno (obrázek 43), ale i jiné savé příměsi, které by nejen mohly odstranit zbylou vlhkost vzorku, ale zároveň i náležitě zvýšit výhřevnost výsledného odpadu pro případ jeho možného energetického využití.



Obrázek 43: Odseparovaný vzorek odpadní vody s Vapexem po přidání vápna (červenec, 2020)

Vzhledem k dostupnosti příměsí, které již byly použité v jiném zkoumaném vzorku, byly po odseparování kapalně fáze do Vapexu II vmíchány ještě piliny. Zkoumaný vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic označovaný jako Vapex II, který byl vytvořen s cílem určit, jaká byla s již odstátými odpadními vodami reakce, ale zároveň ověřil, jaké potřebné množství příměsí je nutné pro úpravu odpadu použít.

Vzhledem k tomu, že Vapex jako jediný ze všech pokusných příměsí reagoval s gelovitou fází odpadu, přirozeně platí přímá úměra – čím více gelovité fáze, tím více Vapexu je potřeba na úpravu. Jednoduchou zkouškou bylo také ověřeno, že v případě, že gelovité zbytky zůstaly v již odseparované kapalně fázi (obrázek 44), lze opět nechat krátce působit Vapex, který zbytky naváže a poté znovu odseparovat od kapalně fáze. Hmotnost oddělené kapalně fáze by tak byla sice nižší než s gelovitým zbytkem, čímž by se mírně zvýšila hmotnost odpadu, se kterým by bylo nutné dále nakládat, ale kapalná fáze by byla čistší pro následné snadnější nakládání s ní, tj. návrat a opětovné použití ve výrobě epoxidových pryskyřic.



Obrázek 44: Detail gelovitého zbytku po odseparování kapalné fáze od gelovité fáze (červenec, 2020)

Po postupném vmíchání konečného množství 0,03 kg pilin do zkoumaného vzorku s Vapexem II bylo dosaženo přibližně stejných vlastností výsledného upravovaného materiálu (obrázek 45), jako u prvního vzorku s Vapexem s přidaným vápnem, proto je zřejmé, že použití vápna ve vzorku s Vapexem nemá žádný zvláštní efekt.



Obrázek 45: Odseparovaný vzorek odpadní vody s Vapexem II po přidání pilin (červenec, 2020)

V následující tabulce 5 jsou uvedeny přibližné hmotnosti jednotlivých zkoumaných vzorků s vmíchaným Vapexem.

Tabulka 5: Závěrečný přehled po porovnání konečných hmotností

Vzorek s příměsí	Hmotnost vzorku kg	Hmotnost příměsí kg	Konečná hmotnost vzorku kg	Poč. hmotnost odpadní vody kg	Hmotnostní změna %
Vapex	0,260	0,060	0,320	0,410	-21,950
Vapex II	0,278	0,030	0,308	0,460	-33,040

Hodnoty sledují nejen změnu v hmotnostech jednotlivých vzorků po přidání příměsí vápna nebo pilin, ale zároveň lze i porovnat původní hmotnost samotné odpadní vody a také konečnou hmotnost po veškerých úpravách. Z údajů je zřejmé, že přibližná hmotnostní změna je v tomto případě záporná, protože se hodnota konečné hmotnosti oproti původní hmotnosti samotného odpadu snížila, a to díky zdárnému oddělení gelovité a kapalné fáze vzorku.

5 DISKUSE

V experimentální části pro požadovanou změnu vlastností gelovitých kalů z výroby epoxidových pryskyřic, případně snížení množství odpadu, se kterým bude nutné dále nakládat, byly vybrány příměsi, jejichž prostřednictvím mohlo být tohoto cíle dosaženo. Jednalo se o papír, piliny, hobliny, dřevní štěpku, aktivní uhlí (granulované), aktivní uhlí (práškové), hydrogel, Vapex a hnědé uhlí (viz tabulka 6).

Tabulka 6: Kompletní přehled vlastností jednotlivých vzorků po 48 h

Příměs	Množství příměsi kg	Změna poměru fází vzorku	Savost příměsi ve vzorku	Pozice příměsi ve vzorku	Lepivost vzorku	Mísení příměsi s odpadní vodou	Zápach vzorku
Papír	0,04	ano	saje kap. fázi	rozptýlená	středně silná	velmi obtížné	slabý
Piliny	0,04	ano	saje kap. fázi	u dna	středně silná	snadné	slabý
Hobliny	0,04	ano	saje kap. fázi	u dna	středně silná	velmi obtížné	slabý
Dřevní štěpka	0,04	ne	nesaje	u hladiny		snadné	slabý
Akt. uhlí (prášk.)	0,04	ne	nesaje	rozptýlená		snadné	silný
Akt. uhlí (granul.)	0,04	ne	nesaje	rozptýlená		velmi obtížné	velmi slabý
Hydrogel	0,03	ano	saje kap. fázi	rozptýlená	silná	snadné	slabý
Vapex	0,03	ne	saje gel. fázi	u hladiny	slabá	velmi obtížné	slabý
Hnědé uhlí	0,04	ne	nesaje	u dna		snadné	slabý

Z důvodu nedostatečné, pomalé, či pro potřeby experimentu nepříliš příznivé reakce byly před dalšími úpravami z experimentu vyřazeny vzorky s příměsemi dřevní štěpkou, aktivním uhlím (granulovaným), aktivním uhlím (práškovým), hydrogelem a hnědým uhlím. Tabulka obsahuje souhrnné informace o všech sledovaných vlastnostech jednotlivých vzorků v průběhu 48 h. Kurzívou jsou zvýrazněny příměsi, po jejichž působení zkoumaný vzorek odpadní vody nevykazoval žádné změny, které by mohly vést k požadované úpravě skupenství nebo struktury, a proto byly z experimentu vyřazeny a dále nepozorovány.

5.1 Příměsi novinový papír, piliny a hobliny

Do jednotlivých vzorků s odpadními vodami z výroby pryskyřic byly vmíchány příměsi, až na shodné konečné množství 0,06 kg. Všechny tři příměsi reagovaly s kapalnou fází, a výrazně tak změnilly poměr mezi gelovitou a kapalnou fází zkoumaného vzorku. Rovněž všechny tři příměsi byly rozptýleny ve vzorku, a zkoumaný materiál byl zpočátku silně lepivý. Po postupném vmíchání příměsí byly zkoumané vzorky s příměsí novinového papíru, pilin a hoblin ve stavu bez vnějšího zásahu, a po 30 dnech od vytvoření jednotlivých vzorků byly znovu zváženy a dále upravovány. Odpar vody způsobil, že hmotnost vzorků po měsíční pauze byla znatelně nižší, a do vzorků bylo postupně vmícháno stejné množství vápna, až na konečné množství 0,06 kg. Vápno, používaný stabilizátor, způsobilo hrudkovatění zkoumaného vzorku s papírem, podpořilo sypkost vzorku s pilinami a snížilo vlhkost vzorku s hoblinami. Zároveň se u všech tří vzorků výrazně snížila lepivost.

Vzhledem k požadovaným změnám ve skupenství odpadu a vlastnostem některých příměsí, je nutné odpadní vody s vmíchanými příměsemi upravovat v kryté uzavřené hale tak, aby bylo zamezeno vlivu povětrnostních podmínek, jako je vítr, dešťové srážky, případně vlhkost vzduchu. Zároveň je potřeba opatřit úpravnu dostatečným odvětráváním, kvůli zbytkovému množství rozpouštědla obsaženého v gelovitých kalcích.

Po úpravě vmícháním jmenovaných příměsí by prakticky výsledný odpad již mohl být přemísťován elektricky poháněným pásovým dopravníkem, skladován na haldách a promícháván, případně provzdušňován pomocí bubnové drticí ALLU lopaty s hrubým sítem (obrázek 46 vlevo) připojenou k čelnímu kolovému nakladači (obrázek 46 vpravo), která se používá k rekultivaci zeminy, při míchání substrátů, nebo promíchávání kompostu.



Obrázek 46: Vlevo: ALLU lopata s hrubým sítem, Vpravo: Čelní kolový nakladač Kramer (červenec, 2020)

Oddělit kapalnou fázi ze zkoumaných vzorků se u těchto příměsí bohužel nepodařilo, proto je konečná hmotnost odpadu o něco vyšší než původní hmotnost neupravených samotných odpadních vod z výroby pryskyřic. Nicméně výsledný materiál je u všech tří příměsí suchý, sypký a jen nepatrně lepivý, takže proto splňuje alespoň jeden ze stanovených požadavků. Pro případné zvýšení energetického potenciálu lze do odpadu ještě přidat jemně nadrcené uhlí, čímž ale celková hmotnost výsledného odpadu přirozeně ještě více vzroste.

5.2 Příměs Vapex

Do vzorku s odpadní vodou z výroby pryskyřic byl postupně vmíchán jako příměs i Vapex, a to až na konečné množství 0,06 kg. Na rozdíl od vzorků s novinovým papírem, pilinami a hoblinami, Vapex reagoval s gelovitou fází odpadní vody a oddělil ji od zbylé kapaliny. Tím se poměr mezi oběma fázemi téměř nezměnil. Oddělená kapalná fáze zůstala u dna pokusné nádoby, a Vapex s navázanou gelovitou fází, coby hydrofobní sorbent, zůstal plavat u hladiny zkoumaného vzorku. Upravovaný odpad po krátkodobém působení Vapexu byl jen lehce lepivý.

Po postupném vmíchání příměsi byl zkoumaný vzorek odpadní vody s Vapexem ve stavu bez vnějšího zásahu, a po 30 dnech od vytvoření jednotlivých vzorků byl tak ještě dále upravován. Vzhledem k úspěšnému striktnímu rozdělení gelovité a kapalně fáze byl vzorek podroben separaci gelovité fáze od kapalně, a poté byl každý segment vzorku zvlášť zvážen. Kapalná fáze byla z experimentu vyřazena pro její možné opětovné využití v samotném výrobním procesu, a do gelovité fáze s Vapexem, která se spojila ve velké hrudky, bylo postupně vmícháno vápno, až na konečné množství 0,06 kg. Vápno zvýšilo sypkost upravovaného odpadu tím, že zmenšilo slepené hrudky zkoumaného materiálu a značně snížilo celkovou lepivost vzorku.

Paralelním vzorkem s názvem Vapex II, vytvořeným za stejných podmínek (s výjimkou „čerstvosti“ zkoumané odpadní vody), bylo dokázáno, že Vapex je schopen upravit i odpadní vody odebrané před dobou delší než 24 h, přičemž platí přímá úměra, tzn. čím více gelovité fáze se nachází ve zkoumaném vzorku, tím větší množství Vapexu je nutné použít pro dostatečné oddělení obou fází. Dále bylo zjištěno, že stejný sorbent je možné použít pro případné následné přecházení kapalné fáze, pokud se zde ještě nacházejí gelovité zbytky.

Vzhledem k tomu, že vápno u prvního vzorku s Vapexem nemělo žádnou další viditelnou reakci, než že zmenšilo hrudky vytvořené po separaci fází odpadu, bylo do druhého zkoumaného vzorku s Vapexem vmícháno poloviční množství pilin (0,03 kg). Ty, stejně jako vápno, zvýšily sypkost upravovaného odpadu tím, že zmenšily slepené hrudky zkoumaného materiálu, odpad se stal sušším, a zároveň se snížila jeho lepivost, dokonce ještě o něco více než u vzorku s Vapexem a vmíchaným vápnem. Piliny jsou tedy jako příměs vhodnější, nejen pro menší množství nutné k dosažení požadované změny vlastností, a tím i nižší celkové hmotnosti výsledného odpadu, ale i pro zvýšení energetického potenciálu odpadního materiálu určenému k dalšímu využití.

Vzhledem k požadovaným změnám ve skupenství odpadu a vlastnostem některých příměsí, je nutné odpadní vody s vmíchanými příměsemi zpracovávat v kryté uzavřené hale tak, aby bylo zamezeno vlivu povětrnostních podmínek, jako je vítr, dešťové srážky, případně vlhkost vzduchu. Zároveň je potřeba opatřit úpravnu dostatečným odvětráváním, kvůli zbytkovému množství rozpouštědla obsaženého v gelovitých kálech. Po úpravě vmícháním příměsí je nutné oddělit gelovitou fázi s navázaným Vapexem od kapalné fáze. Získaná kapalina by zároveň snížila potřebné množství technologické vody ve výrobním procesu.

Mnohem rychlejším a efektivnějším způsobem, než je separace, by bylo zpracování odpadu na technologicky upraveném kalolisu. Tím by se ušetřil čas potřebný k vysoušení upravovaného odpadu, případně množství příměsí určené k absorbování přebytečné kapaliny. Výsledný odpad by tak mohl být přemísťován elektricky poháněným pásovým dopravníkem, skladován na haldách a promícháván, případně provzdušňován pomocí bubnové drticí ALLU lopaty s jemným sítem (obrázek 47) připojenou k čelnímu kolovému

nakladači, která se používá k rekultivaci zeminy, při míchání substrátů, nebo promíchávání kompostu.

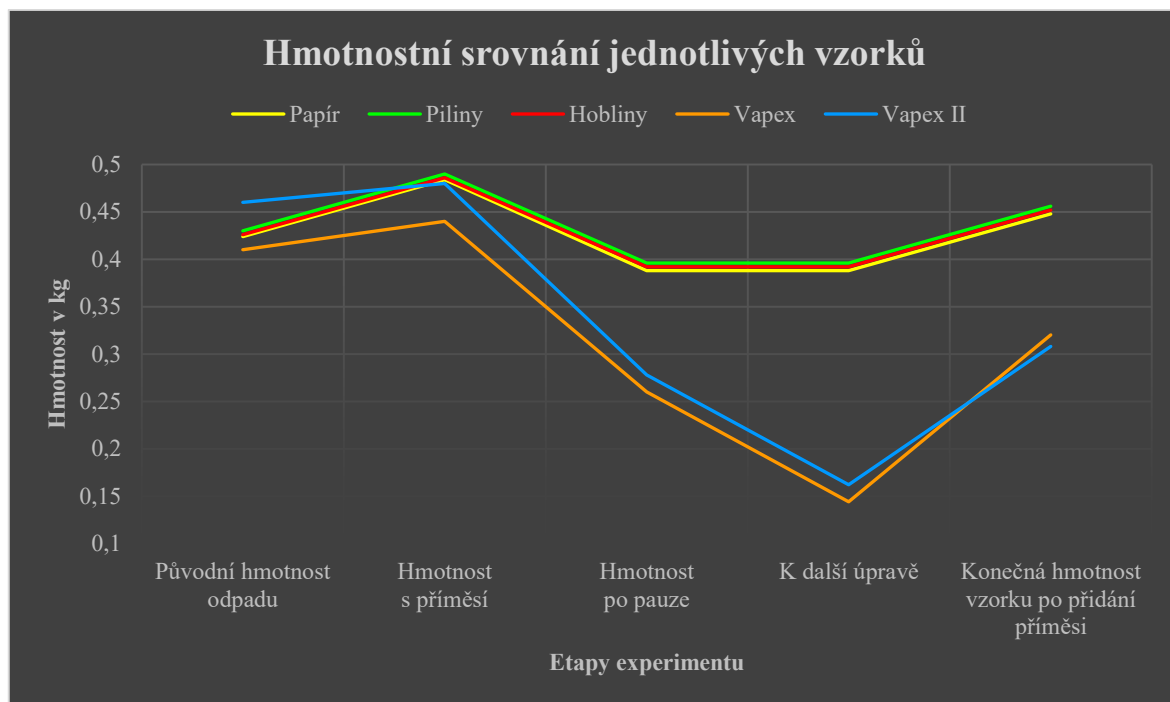


Obrázek 47: Bubnová ALLU lopata s jemným sítím (červenec, 2020)

Konečná hmotnost suchého, sypkého odpadního materiálu je díky oddělení kapaliny nižší než hmotnost původního samotného odpadu, proto lze zvýšit případný energetický potenciál přidáním jemně nadrceného uhlí. Dále by výsledný odpad mohl být vstupní surovinou pro smíchání s odpady z regenerace olejů, čímž by se výhřevnost také rapidně zvýšila. Následně by se energeticky upravený odpad mohl využít například v LafargeHolcim, cementárně v Čížkovicích, kde se využíváním energetického potenciálu zabývají.

Následující graf přehledně znázorňuje hmotnostní změny v jednotlivých fázích experimentu. K hmotnosti samotného odpadu byla přidána příslušná příměs, následně byla zaznamenána změna po 30denní, respektive 10denní pauze, u vzorků s Vapexem přidána i hodnota k další úpravě, tedy hmotnost gelovité fáze s Vapexem po filtraci, a konečně výsledná hmotnost vzorku po přidání všech příměsí.

Je zcela zřejmé, že zkoumané vzorky odpadní vody s novinovým papírem (žlutá), pilinami (zelená) a hoblinami (červená), měly takřka totožný průběh, všechny shodně s vyšší výslednou hmotností zkoumaného vzorku, kdežto u obou vzorků s Vapexem, i přes rozdílnou počáteční hmotnost samotné odpadní vody, a různou dobu vystavení působení příměsí, je zřetelný hmotnostní propad, dokonce i po přidání závěrečných příměsí. I přesto, že zkoumaného vzorku s Vapexem II (modrá) bylo na počátku větší množství než vzorku s Vapexem (oranžová), díky poloviční dávce finální příměsí dosáhl tento vzorek nejnižší konečné hmotnosti ze všech vzorků se zkoumanými příměsemi (obrázek 48).



Obrázek 48: Grafické vyhodnocení hmotnostního srovnání jednotlivých vzorků

Nejvhodnější příměsí na úpravu gelovitých kalů z výroby epoxidových pryskyřic je tedy Vapex, který jako jediný splňuje všechny vznesené požadavky. Vapex dostatečně upravuje vlastnosti odpadní vody, po jeho působení se snížilo množství odpadu, se kterým je nutné dále nakládat, a zároveň je sníženo i potřebné množství technologické vody při samotné výrobě epoxidových pryskyřic. Vapexu navíc bylo použito pouze třetinové množství v porovnání s ostatními příměsemi a množství pilin v rámci dalších úprav bylo sníženo na poloviční hmotnost, na rozdíl od vápna. Přidáním pilin se navíc povedlo zvýšit energetický potenciál pro možné další využití tohoto odpadu. Pro zvýšení výhřevnosti je navíc možné smíchat tento odpad s dalšími odpady a zlikvidovat tak další těžce manipulovatelné odpady, jako jsou například odpady z regenerace olejů.

Pro představu bylo z přibližně odvážených hmotností vypočteno, že na úpravu 100 t odpadních vod tak, aby byl výsledný odpad snadno manipulovatelný, by byla potřeba přibližně 4,35 t Vapexu a 6,52 t pilin.

Veškeré pomůcky použité při praktické části byly předány kvalifikované odpadářské firmě a odborně zlikvidovány.

6 ZÁVĚR

Snaha ke znovuvyužívání všech odpadů, nejen těch komunálních, nás vede k neustálému zkoumání nejen vlastností zpracovávaného odpadu, ale i vymýšlení nových technologií pro jejich úpravu, případně pro snížení jejich celkového množství. Práci s nebezpečnými odpady navíc ztěžují vlastnosti nebezpečné nejen lidskému životu a zdraví, ale i životnímu prostředí.

Ve své diplomové práci jsem se zabývala vlastnostmi právě jednoho z nebezpečných odpadů – gelovitých kalů z výroby epoxidových pryskyřic, s katalogovým číslem 08 04 15. Gelovité kaly jsou součástí odpadní vody z výroby, jejichž vlastnosti znesnadňují manipulaci a následné nakládání s nimi. Problémové jsou nejen vlastnosti odpadu, jako je gelovitost, lepivost a zápach materiálu, ale i velké množství vody, která se od směsi zatím nedá efektivně oddělit. V současné době je principem spojených nádob oddělované pouze omezené množství kapalně fáze, která je po přečištění znovu použita ve výrobním procesu. Větší část tohoto kapalného odpadu je pouze stabilizována, a poté umístována na skládku nebezpečného odpadu.

Cílem mé diplomové práce bylo vytvořit a pokusem ověřit možnosti nakládání a snadnější manipulace s gelovitým odpadem, a to případnou změnou ve fyzikálně-mechanických vlastnostech. Této změny by bylo docíleno vmícháváním různých příměsí do odpadu, za účelem vhodně změnit jeho skupenství nebo vlastnosti. Dalším sledovaným faktorem bylo případné snížení množství odpadu tak, aby ho bylo možné efektivně upravit a dále zpracovat. Zároveň by se jednalo o případné zvýšení energetického potenciálu tohoto odpadu a vytvoření palivové směsi pro následné využití při vytváření tepla, například v cementačních provozech.

V experimentální části vedoucí k možnému dosažení požadovaných změn v chemickém nebo fyzikálním složení odpadního materiálu bylo zvoleno devět druhů příměsí, které byly vybrány na základě jejich vysoké schopnosti absorpce nebo adsorpce. Z důvodu nedostatečné, pomalé, či pro potřeby experimentu nepřiliš vhodné reakce bylo před dalšími úpravami pět z nich odstraněno.

Příměsí, které alespoň částečně splnily podmínky experimentu, byly papír, piliny a hobliny. Zkoumané vzorky s těmito příměsemi reagovaly velmi podobně – všechny

absorbovaly z odpadní vody kapalnou fázi, a staly se tak součástí odpadu. Vzorky s těmito příměsemi po postupném vmíchání vápna sice splnily požadavek, který se týkal změny skupenství a vlastností vedoucí ke snadnější manipulovatelnosti odpadu, ale příměsi se díky absorbování kapalné fáze staly součástí odpadu, a proto, po veškerých úpravách, nakonec zvýšily výslednou hmotnost odpadu, se kterým je nutné dále nakládat. Při snaze zvýšit energetický potenciál odpadu upraveného těmito příměsemi by hmotnost konečného odpadu stále jen rostla.

Nejoptimálnějších výsledků ze všech zvolených příměsí dosáhl nepochybně Vapex. Na rozdíl od zbylých příměsí Vapex, díky svému hydrofobnímu charakteru, navázal gelovitou fází odpadních vod, čímž striktně oddělil kapalnou fázi od gelovité. Je tedy možné po úpravě, například filtraci, dále pracovat s kapalinou a víceméně sypkou částí odpadu zvlášť. To znamená, že se po oddělení kapaliny, kterou je možné po přečištění opětovně použít ve výrobním procesu, nejen sníží objem, ale i celková hmotnost odpadu, který je nutné dále upravit a zpracovat. Získanou kapalinou se zároveň sníží množství potřebné technologické vody ve výrobním procesu. Několika pokusy bylo zjištěno, že Vapex je schopen upravit i odpadní vody odebrané před dobou delší než 24 h, přičemž platí přímá úměra – čím více gelovité fáze, tím větší množství Vapexu je nutné použít pro dostatečné oddělení obou fází. Stejně jako do ostatních vzorků bylo i do vzorku s Vapexem vmícháno vápno, ale na odpadní materiál nemělo žádný výrazný vliv. Vapexu navíc bylo použito pouze třetinové množství v porovnání s ostatními příměsemi a množství pilin v rámci dalších úprav bylo sníženo na poloviční dávku, na rozdíl od vápna. Přidáním pilin se navíc povedlo zvýšit energetický potenciál pro možné další využití tohoto odpadu. Konečná hmotnost suchého, sypkého odpadního materiálu je díky oddělení kapaliny nižší než hmotnost původního samotného odpadu, proto lze zvýšit případný energetický potenciál například přidáním jemně nadrceného uhlí, nebo odpadů z regenerace olejů. Následně by se energeticky upravený odpad mohl využít například v LafargeHolcim, cementárně v Čížkovicích.

Seznam literatury

- [1] ŠŤASTNÁ, Jarmila. *Kam s nimi: jak správně třídit odpady a všechno, co s tím souvisí: s průvodkyní Martinou Vrbovou*. Praha: Česká televize, 2007. Edice České televize. ISBN 80-85005-72-7.
- [2] *Mindarie Regional Council*. All About Waste [online]. [cit. 20.4.2021]. Dostupné z: https://www.mrc.wa.gov.au/MindarieRegionalCouncil/media/Documents/Earth-Carers/all_about_waste.pdf
- [3] SBÍRKA ZÁKONŮ ČR. *Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech*. [Online]. 2020. [cit 20.4.2021]. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>
- [4] KURAŠ, Mečislav. *Odpadové hospodářství*. Chrudim: Ekomonitor, 2008. ISBN 978-80-86832-34-0.
- [5] *Hodnocení nebezpečné vlastnosti odpadů* [online]. © 1997 – 2021 by Dashöfer Holding, Ltd. [cit. 20.4.2021]. Dostupné z: https://www.enviprofi.cz/33/hodnoceni-nebezpecne-vlastnosti-h13-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_Z0NlMxrbp25alCLOpBX5O-U/
- [6] SBÍRKA ZÁKONŮ ČR. *Vyhláška č. 294/2005 Sb., Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu*. [Online]. 2005. [cit 20.4.2021]. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>
- [7] ČSN EN 12457-4. *Charakterizace odpadů - Vyluhování - Ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů - Část 4: Jednostupňová vsádková zkouška při poměru kapalné a pevné fáze 10 l/kg pro materiály se zrnitostí menší než 10 mm (bez zmenšení velikosti částic, nebo s ním)*. 2003, Třídící znak 838005.
- [8] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-521-8.
- [9] KURAŠ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
- [10] *Nebezpečné odpady* [online]. © 2008–2020 Ministerstvo životního prostředí. [cit. 20.4.2021]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/nebezpecne_odpady
- [11] *Vlastnosti nebezpečných odpadů* [online]. © 2015 Envi Group s.r.o. [cit. 20.4.2021]. Dostupné z: <https://www.envigroup.cz/vlastnosti-nebezpecnych-odpadu.html>

- [12] Integrované povolení, ze dne 30.1.2006. Integrované povolení pro zařízení „Výroba nízkomolekulárních epoxidových pryskyřic“ společnosti Epispol, a.s.
- [13] KŘÍČKA, Jiří. *Dílo sedmi generací: 150 let Spolku pro chemickou a hutní výrobu v Ústí nad Labem*. Ústí nad Labem: Spolek pro chemickou a hutní výrobu, 2008. ISBN 978-80-902991-3-9.
- [14] *Epoxidové pryskyřice* [online]. © 2021 Spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost. [cit. 20.4.2021]. Dostupné z: <https://www.spolchemie.cz/cs/epoxidove-pryskyrice>
- [15] LIDARŽÍK, Miloslav. *Epoxidové pryskyřice*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: SNTL, 1983. Makromolekulární látky.
- [16] WEISS, Viktorie a Elena STŘIHAVKOVÁ. *Polymery*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
- [17] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [18] *Sborník ÚVTIZ. Zahradnictví*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 1976-1991, 1981. ISSN 0231-567X
- [19] KIZLINK, Juraj. *Nakládání s odpady*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2007. ISBN 978-80-214-3348-9.
- [20] Provozní řád, ze dne 30.5.2014. Provozní řád „Linka pro úpravu odpadů.“
- [21] Provozní řád, ze dne 30.3.2018. Provozní řád pro nakládání s odpady provozu Epispol.
- [22] Identifikační list nebezpečného odpadu s kódem 080415, EPISPOL.a.s.
- [23] FILDÁN, Zdeněk. *Povinnosti firem v podnikové ekologii*. 4., upr. a rozš. vyd. Tachov: Envi Group, 2009. ISBN 978-80-904215-4-7.
- [24] KIZLINK, Juraj. *Technologie chemických látek a jejich použití*. 4., přeprac. a dopl. vyd. V Brně: Vutium, 2011, 546 s. ISBN 978-80-214-4046-3.
- [25] Informace poskytl Ing. Vít MRŠTÍK, zaměstnanec EPISPOLU, a.s., dceřiné společnosti Spolku pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost. Ústí nad Labem, 20.9.2020.

- [26] PELCLOVÁ, Daniela. *Nemoci z povolání a intoxikace*. 3., dopl. vyd. Praha: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2597-3.
- [27] Integrované povolení, ze dne 2.7.2015. Integrované povolení pro zařízení „Provoz úpravy odpadů MSJ 01 Malhostice“ společnosti EKOM CZ a.s.
- [28] Waste Management Service. [online]. © 2019 by GEL. [cit. 20.4.2021]. Dostupné z: <https://gel.com.pk/waste-management>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vzhled gelovitého kalu z výroby epoxidových pryskyřic (červen, 2020)	7
Obrázek 2: Kuchyňská váha (červen, 2020)	13
Obrázek 3: a) Odměrná nádoba o objemu 250 ml, b) Odměrný válec o objemu 50 ml (červen, 2020)	13
Obrázek 4: 0,02 kilogramu papíru, 150 ml	14
Obrázek 5: Přídavek 0,02 kg pilin, na stupnici odměrné nádoby 125 ml (červen, 2020) ...	15
Obrázek 6: Přídavek 0,02 kg hoblin, na stupnici odměrné nádoby 300 ml (červen, 2020).	15
Obrázek 7: Přídavek 0,02 dřevní štěpky, na stupnici odměrné nádoby 125 ml (červen, 2020)	16
Obrázek 8: a) Přídavek 0,02 kg granulovaného aktivního uhlí, na stupnici odměrného válce 37 ml, b) Přídavek 0,02 kg práškového aktivního uhlí, na stupnici odměrného válce 44 ml (červen, 2020)	17
Obrázek 9: Přídavek 0,02 kg hydrogelu, na stupnici odměrného válce 37 ml (červen, 2020)	18
Obrázek 10: Přídavek 0,02 kg Vapexu, na stupnici odměrné nádoby 150 ml (červen, 2020)	18
Obrázek 11: Přídavek 0,02 kg hnědého uhlí, na stupnici odměrného válce 30 ml (červen, 2020)	19
Obrázek 12: Vzorky odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic s přidanými příměsemi (červen, 2020)	19
Obrázek 13: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 24 h (červen, 2020)	21
Obrázek 14: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 48 h (červen, 2020)	22
Obrázek 15: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 72 h (červen, 2020)	23
Obrázek 16: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 24 h (červen, 2020)	23
Obrázek 17: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 48 h (červen, 2020)	24
Obrázek 18: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 72 h (červen, 2020)	25
Obrázek 19: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 24 h (červen, 2020)	25
Obrázek 20: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 48 h (červen, 2020)	26
Obrázek 21: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 72 h (červen, 2020)	27
Obrázek 22: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí dřevní štěpky po 24 h (červen, 2020)	27
Obrázek 23: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí dřevní štěpky po 48 h (červen, 2020)	28

Obrázek 24: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí granulátu po 24 h (červen, 2020).....	29
Obrázek 25: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí granulátu po 48 h (červen, 2020).....	30
Obrázek 26: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí prášku po 24 h (červen, 2020).....	30
Obrázek 27: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí prášku po 48 h (červen, 2020).....	31
Obrázek 28: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hydrogelu po 24 h (červen, 2020).....	32
Obrázek 29: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hydrogelu po 48 h (červen, 2020).....	33
Obrázek 30: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hydrogelu po 72 h (červen, 2020).....	33
Obrázek 31: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí Vapexu po 24 h (červen, 2020).....	34
Obrázek 32: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí Vapexu po 48 h (červen, 2020).....	35
Obrázek 33: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hnědého uhlí po 24 h (červen, 2020).....	35
Obrázek 34: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hnědého uhlí po 48 h (červen, 2020).....	36
Obrázek 35: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí papíru po 30 dnech (červenec, 2020).....	38
Obrázek 36: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí pilin po 30 dnech (červenec, 2020).....	39
Obrázek 37: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s příměsí hoblin po 30 dnech (červenec, 2020).....	39
Obrázek 38: a) Odseparování gelovité fáze, b) Samostatná gelovitá fáze vzorku s Vapexem (červenec, 2020).....	40
Obrázek 39: Vzorek po reakci odpadní vody (s příměsí papíru) s vápnem během 72 h (červenec, 2020).....	42
Obrázek 40: Vzorek po reakci odpadní vody (s příměsí pilin) s vápnem během 72 h (červenec, 2020).....	43
Obrázek 41: Vzorek po reakci odpadní vody (s příměsí hoblin) s vápnem během 72 h (červenec, 2020).....	43
Obrázek 42: Vzorek odpadní vody z výroby pryskyřic s Vapexem po odseparování kapaliny (červenec, 2020).....	44
Obrázek 43: Odseparovaný vzorek odpadní vody s Vapexem po přidání vápna (červenec, 2020).....	45
Obrázek 44: Detail gelovitého zbytku po odseparování kapalné fáze od gelovité fáze (červenec, 2020).....	46
Obrázek 45: Odseparovaný vzorek odpadní vody s Vapexem II po přidání pilin (červenec, 2020).....	46

Obrázek 46: Vlevo: ALLU lopata s hrubým sítem, Vpravo: Čelní kolový nakladač Kramer (červenec, 2020).....	50
Obrázek 47: Bubnová ALLU lopata s jemným sítem (červenec, 2020).....	52
Obrázek 48: Grafické vyhodnocení hmotnostního srovnání jednotlivých vzorků	53

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka vyluhovatelnosti [5].....	3
Tabulka 2: Hmotnostní porovnání jednotlivých vzorků odpadní vody z výroby epoxidových pryskyřic s přídavkem směsi	37
Tabulka 3: Hmotnostní porovnání zkoumaných vzorků s Vapexem.....	42
Tabulka 4: Závěrečný přehled pro porovnání konečných hmotností	43
Tabulka 5: Závěrečný přehled po porovnání konečných hmotností.....	46
Tabulka 6: Kompletní přehled vlastností jednotlivých vzorků po 48 h.....	48